

DAYANE ROSALYN IZIDORO

**INFLUÊNCIA DA POLPA DE BANANA (*Musa cavendishii*) VERDE NO
COMPORTAMENTO REOLÓGICO, SENSORIAL E FÍSICO-QUÍMICO DE
EMULSÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de mestre em Tecnologia de Alimentos, ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Agnes de Paula Scheer

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria-Rita Sierakowski

CURITIBA

2007

DAYANE ROSALYN IZIDORO

**INFLUÊNCIA DA POLPA DE BANANA (*Musa cavendishii*) VERDE NO
COMPORTAMENTO REOLÓGICO, SENSORIAL E FÍSICO-QUÍMICO DE
EMULSÃO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a AGNES DE PAULA SCHEER
Setor de Tecnologia, UFPR

Co-Orientadora:

Prof.^a Dr.^a MARIA-RITA SIERAKOWSKI
Setor de Tecnologia, UFPR

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a MARIA LUCIA MASSOM
Setor de Tecnologia, UFPR

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Raniere Mazille Vidal Bezerra
Centro de Ciências Exatas, UNICENTRO, Guarapuava-PR

Curitiba, 12 de fevereiro de 2007.

*À Deus, minha família, meu amor,
meus amigos de verdade e a todos
aqueles que acreditam e incentivam
a pesquisa...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus. Ele tem me abençoado todos os dias da minha vida. “Pois dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas”

Aos meus pais Sérgio Francisco Izidoro e Reni de Fátima Izidoro pelo amor incondicional, apoio e compreensão.....Vocês são meu principal incentivo e meu maior orgulho! Amo vocês! Obrigada por serem especiais!!!

Ao meu irmão Vênnyton Nathan Leandro Izidoro sempre prestativo, querido e amigo! Maninho: Amo você, você é tudo de bom !!!!!!!!!!!

Ao Cláudio Antônio Plocharski, obrigada pelo seu amor, companheirismo, por estar sempre ao meu lado, treinando minhas apresentações, estudando comigo e até me levando marmita no laboratório. Obrigada mesmo, te amo!

Ao meu amigão de todas as horas, colega de graduação e mestrado: Bogdan Demczuk Junior: Tenho orgulho de ser sua amiga, nunca vou esquecer dos ataques de risos e bagunças que continuaram no mestrado, muito obrigada pelo apoio e amizade!!! Friends forever!

Ao meu primo e “irmão mais velho” Charles W. Isidoro Haminiuk, obrigada por ter me incentivado a prestar mestrado, pela ajuda no meu projeto e por ter me mostrado que quando queremos, somos capazes!!! Também agradeço a sua esposa, Giselle Maciel, minha amigona de verdade e prima do coração que esteve sempre ao meu lado! Aprendi muito com vocês!

À minhas amigonas Luciane Nascimento, Érika Gralak e Andréa Silvestre, ainda somos “o quarteto” e que a nossa amizade de mais de 20 anos (vixi) seja para sempre!!!!!!!! Amo vocês! Obrigada por tudo!

À Charlene Cristina Godoy da Silva minha amigona e colega de graduação, obrigada por todo apoio em Paranavaí e por mostrar que amizade não tem distância!

À Beatriz Cardoso, Rosângela Nascimento e Anderson Silvestre (Formiga) por todos os momentos ótimos e festas que fizemos juntos, também sei que são meus amigos do coração!

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Agnes de Paula Scheer, por estar sempre disposta a oferecer estímulos e, principalmente ouvir com interesse e ânimo todas as questões, dúvidas e problemas que surgiam durante o projeto. Por sua amizade e principalmente pela alegria de trabalharmos juntas.

À minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Maria-Rita Sierakowski por ter me acolhido no laboratório de Biopolímeros e me auxiliado com a reologia sendo fundamental no meu trabalho.

À Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Masson e Prof.^a Dr.^a Regina Weinschutz que me ofereceram durante o exame de qualificação, muitas sugestões, exemplos e críticas fundamentais ao meu tema, além do estímulo ao meu trabalho.

Aos membros da banca: Prof. Dr. José Raniere Mazile Vidal Bezerra e Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Masson por terem aceitado a participar da avaliação deste trabalho;

Ao Professor Dr. Rui Sérgio Ferreira da Silva, da Universidade Estadual de Londrina, pelo auxílio com os dados estatísticos e pelas muitas informações que me passou.

À Prof.^a Dr.^a Sônia Cachoeira Stertz pelo XX-CBCTA e pelo apoio com análises no Laboratório de Química Analítica Aplicada (LQAA). Ao Prof. Dr. Renato João Sossela de Freitas, Prof. Ms. Paulo Fontoura, Prof.^a Dr.^a Sônia Maria Chaves Haracemiv e à Prof.^a Dr.^a Nina Waszczyński, pelas dicas essenciais, sugestões e colaborações em meu trabalho.

À Helena Lucion, Maria Iverli Rosa e Paulo Krainski por toda ajuda técnica que precisei e também Ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos: PhD. Giovani Mocelin.

Em especial aos colegas e amigos de mestrado: Bogdan Demczuk Junior, Sônia Mara Macari, Maria das Graças de Lourdes Kantikas, Felipe Richter Reis, Lindamir Tomczak Tullio, Daiana Novello, Jocilene de Miranda Marques, Pablo Dario Contreras, Evelise Maria Garcia, Diomar Augusto Quadros e Antônio Novaes de Souza pela alegre convivência e sugestões que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho! Agradeço aos amigos do doutorado Deisy Drunkler, Solange Carpes, José Mauro Giroto, Osmar Dalla Santa e Herta Dalla Santa.

À família Izidoro: Heitor, muito obrigada pelo apartamento, Carmem, Celso e Marcos Isidoro, obrigada por estarem sempre prontos a me receber e pelo enorme apoio, Marisol Isidoro pelas aulas de inglês e correções em meus artigos, Maria Helena, Célio e Roseli Izidoro muito obrigada por tudo, vocês realmente são demais.

À minha afilhada Taine Luize de Souza pela compreensão da madrinha estar longe, mas ao mesmo tempo sempre pensando em você e aos meus familiares de Guarapuava, minha avó Geni Machado e vô Noel, a Ermelina, Cleudete, Marildo, Marinaldo, Rita e Reginaldo por sempre terem acreditado na minha capacidade e as minhas tias de Ponta Grossa Érika e Reni Eidan pelo exemplo de perseverança.

Ao pessoal queridíssimo de Itajaí: Gilda, Tio e Tia Maura, Marise, Renato e Diego, vocês são especiais e também aos amigos Paranavaí: Gisele Costa e a todos os funcionários da Alimentos Mil!

Ao Antônio e Teresinha Plochanski pela confiança, apoio e amor. Admiro muito vocês. Também gostaria de agradecer a Zana, Carla, Carlos e Carina! Obrigada!

Ao Laboratório de Biopolímeros do Departamento de Química e ao Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA) da UFPR

A Universidade Federal do Paraná, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, pela acolhida e à CAPES, que financiou durante 24 meses minha pesquisa.

A todos agradeço, profundamente, e dedico os resultados desse trabalho.

*O valor das coisas não está no tempo em que elas duram,
mas na intensidade com que acontecem.
Por isso existem momentos inesquecíveis,
coisas inexplicáveis e
pessoas incomparáveis".*

(Fernando Pessoa)

A ousadia e o erro são os caminhos para as grandes realizações!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xvi
LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xix
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxi
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 OBJETIVO GERAL.....	02
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	03
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1 BANANA (<i>Musa paradislaca</i> L).....	04
2.1.1 Classificação Botânica.....	06
2.1.2 Importância Econômica.....	07
2.1.3 Banana como Matéria-prima.....	10
2.1.4 Aspectos Nutricionais.....	12
2.1.5 Banana Verde.....	13
2.2 COLÓIDES.....	17
2.2.1 Sol.....	17
2.2.2 Gel.....	18
2.2.3 Espuma.....	18
2.2.4 Emulsões.....	18
2.3 VISCOSIDADE E REOLOGIA.....	21
2.3.1 Fluidos Newtonianos.....	22
2.3.2 Fluidos não–Newtonianos.....	23
2.3.2.1 Fluidos pseudoplásticos.....	24
2.3.2.2 Fluidos dilatantes.....	25
2.3.2.3 Fluidos de Bingham.....	25
2.3.2.4 Fluidos tixotrópicos.....	26
2.3.2.5 Fluidos reopéticos.....	27
2.3.2.6 Fluidos viscoelásticos.....	28

2.3.3	Modelos Reológicos.....	28
2.3.3.1	Modelo de Ostwald-De-Waele (Lei da Potência).....	28
2.3.3.2	Modelo de Bingham	29
2.3.3.3	Modelo de Casson.....	29
2.3.3.4	Modelo de Herschel-Bulkley.....	30
2.3.3.5	Modelo de Mizrahi – Berk.....	30
2.3.4	Reômetros (Sistema rotacional).....	31
2.3.4.1	Reômetro rotacional de cilindro concêntrico.....	32
2.3.4.2	Reômetro rotacional de cone e placa.....	33
2.3.4.3	Reômetro rotacional de placas paralelas.....	33
2.3.5	Comportamento reológico de derivados de frutas.....	34
2.3.6	Comportamento reológico de maionese.....	36
2.4	DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS.....	37
2.4.1	Delineamento para Misturas.....	37
2.4.2	Delineamentos de Superfície de Resposta.....	39
2.5	ANÁLISE SENSORIAL.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	PADRONIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	44
3.2	OBTENÇÃO DA POLPA.....	45
3.3	PREPARO DAS EMULSÕES.....	46
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	49
3.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	53
3.6	COMPORTAMENTO REOLÓGICO E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....	54
3.7	ESTABILIDADE.....	58
3.8	ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	58
3.9	AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	PADRONIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	62
4.1.1	Banana Verde.....	62
4.1.2	Polpa de Banana Verde.....	63
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS EMULSÕES.....	64
4.3	COMPORTAMENTO REOLÓGICO E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....	66

4.3.1	Viscosidade Aparente.....	80
4.4	ESTABILIDADE.....	94
4.5	ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	102
4.6	AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	104
5	CONCLUSÕES.....	110
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
	REFERÊNCIAS.....	113
	APÊNDICES.....	133

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – REPRESENTAÇÃO DA BANANA: DEDO, BUQUE E PENCA.....	05
FIGURA 02 – QUANTIDADE PRODUZIDA, EM TONELADAS, DE BANANA NO ESTADO DO PARANÁ EM 2004.....	10
FIGURA 03 – CLASSIFICAÇÃO DA BANANA VERDE SEGUNDO ESCALA DE MATURAÇÃO.....	13
FIGURA 04 – REPRESENTAÇÃO DOS FENÔMENOS QUE OCORREM EM EMULSÃO.....	20
FIGURA 05 – CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS SEGUNDO O COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	24
FIGURA 06 – CURVAS DE ESCOAMENTO PARA VÁRIOS TIPOS DE FLUIDO INDEPENDENTES DO TEMPO.....	26
FIGURA 07 – CURVAS DE ESCOAMENTO PARA FLUIDOS DEPENDENTES DO TEMPO.....	27
FIGURA 08 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE REÔMETROS ROTACIONAIS TIPO SEARLE (a) E TIPO COUETTE (b).....	31
FIGURA 09 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO REÔMETRO DE CILINDRO CONCÊNTRICO (TIPO SEARLE).....	32
FIGURA 10 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO REÔMETRO CONE E PLACA.....	33
FIGURA 11 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO REÔMETRO PLACA – PLACA.....	34
FIGURA 12 – BANANAS VERDES (MATÉRIA-PRIMA) UTILIZADA PARA O PREPARO DA POLPA.....	44
FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DE PREPARO DA POLPA DE BANANA VERDE.....	45
FIGURA 14 – ETAPAS DO PREPARO DA POLPA DE BANANA VERDE.....	46
FIGURA 15 – INGREDIENTES UTILIZADOS NO PREPARO DA EMULSÃO.....	47

FIGURA 16 –	PREPARO DAS EMULSÕES	48
FIGURA 17 –	CINCO FORMULAÇÕES DA ESQUERDA PARA A DIREITA	48
FIGURA 18 –	FLUXOGRAMA DO PREPARO DAS EMULSÕES.....	49
FIGURA 19 –	REÔMETRO ROTACIONAL HAAKE RHEOSTRESS 600.....	56
FIGURA 20 –	LIMITES INFERIORES E SUPERIORES PARA COR E TEXTURA E LIMITE SUPERIOR DE AROMA DE BANANA...	60
FIGURA 21 –	VALOR CALÓRICO DAS EMULSÕES DE BANANA VERDE E DAS MAIONESES COMERCIAIS: TRADICIONAL E LIGHT.....	65
FIGURA 22 –	VALORES DE SAIS MINERAIS DAS EMULSÕES DE BANANA VERDE E DA MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL.....	66
FIGURA 23 –	REOGRAMAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES NAS TEMPERATURAS DE 10 E 25°C.....	67
FIGURA 24 –	REOGRAMAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES, AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY, NA TEMPERATURA DE 10°C.....	70
FIGURA 25 –	REOGRAMAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES, AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY, NA TEMPERATURA DE 25°C.....	71
FIGURA 26 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) NA TEMPERATURA DE 10°C.....	74
FIGURA 27 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) NA TEMPERATURA DE 25°C.....	75
FIGURA 28 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À TENSÃO INICIAL (σ_{OH}) NA TEMPERATURA DE 10°C.....	76
FIGURA 29 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À TENSÃO INICIAL (σ_{OH}) NA TEMPERATURA DE 25°C.....	77
FIGURA 30 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) NA TEMPERATURA DE 10°C.....	79

FIGURA 31 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) NA TEMPERATURA DE 25°C.....	80
FIGURA 32 –	VISCOSIDADE APARENTE CALCULADA PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 10°C.....	81
FIGURA 33 –	VISCOSIDADE APARENTE CALCULADA PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 25°C.....	82
FIGURA 34 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À VISCOSIDADE APARENTE (η_{ap}) NA TEMPERATURA DE 10°C.....	83
FIGURA 35 –	DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À VISCOSIDADE APARENTE (η_{ap}) NA TEMPERATURA DE 25°C.....	84
FIGURA 36 –	REOGRAMAS EXIBINDO HISTERESE PARA AS FORMULAÇÕES NA TEMPERATURA DE 10°C.....	87
FIGURA 37 –	REOGRAMAS EXIBINDO HISTERESE PARA AS FORMULAÇÕES NA TEMPERATURA DE 25°C.....	88
FIGURA 38 –	REOGRAMAS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 10°C...	89
FIGURA 39 –	REOGRAMAS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 25°C...	90
FIGURA 40 –	MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES NO PRIMEIRO DIA DE PREPARO A UM AUMENTO DE 40X.....	94
FIGURA 41 –	MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X.....	96
FIGURA 42 –	MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X.....	97
FIGURA 43 –	MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X.....	98

FIGURA 44 – MICROESTRUTURAS PARA AS CÉLULAS DA BANANA VERDE A UM AUMENTO DE 10X E 40X.....	99
FIGURA 45 – MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 60 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X.....	99
FIGURA 46 – DIFERENÇA TOTAL DE COR (ΔE^*) ENTRE AS EMULSÕES E A POLPA DE BANANA VERDE E ENTRE AS EMULSÕES E A MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL...	104
FIGURA 47 – GRÁFICO ARANHA PARA A REPRESENTAÇÃO DAS MÉDIAS DO TESTE DE ADQ.....	105
FIGURA 48 – MÉDIAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES DE ACORDO COM A ESCALA HEDÔNICA.....	107
FIGURA 49 – DIFERENÇA ENTRE F1 E F3 COM RELAÇÃO A PREFERENCIA DOS CONSUMIDORES PELA ESCALA HEDÔNICA.....	108
FIGURA 50 – INTENÇÃO DE COMPRA DA MAIONESE COM PBV DOS PROVADORES.....	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – CLASSIFICAÇÃO E VARIEDADES DE BANANAS, SEGUNDO LINNEU E SIMMONDS.....	06
TABELA 02 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BANANA EM TONELADAS EM 2006.....	09
TABELA 03 – RELAÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS ORIUNDOS DA AGROINDÚSTRIA BANANEIRA.....	11
TABELA 04 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BANANA MADURA POR 100g....	12
TABELA 05 – COMPOSIÇÃO APROXIMADA DE BANANAS A DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO, CLASSIFICADAS PELA COR DA CASCA.....	14
TABELA 06 – PARÂMETROS COMPARATIVOS ENTRE BANANA VERDE E MADURA DA VARIEDADE TAIWAN.....	14
TABELA 07 – COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE BANANA VERDE COZIDA.....	16
TABELA 08 – TIPOS DE DISPERSÕES COLOIDAIIS EM ALIMENTOS.....	17
TABELA 09 – PRINCIPAIS TIPOS DE EMULSÕES EM ALIMENTOS.....	19
TABELA 10 – TAXAS DE CISALHAMENTO TÍPICAS DE MATERIAIS FAMILIARES E PROCESSAMENTO.....	22
TABELA 11 – ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) PARA PURÊS E POLPAS DE FRUTAS CONFORME SÓLIDOS SOLÚVEIS, TEMPERATURA E MODELO.....	35
TABELA 12 – ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) PARA MAIONESES COM DIFERENTES FORMULAÇÕES.....	37
TABELA 13 – PROPORÇÕES DE MOSTARDA, VINAGRE E SAL.....	47
TABELA 14 – PROPORÇÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS PARA ÁGUA, ÓLEO DE SOJA E POLPA DE BANANA VERDE (PBV).....	51
TABELA 15 – DELINEAMENTO PARA SUPERFÍCIES LIMITADAS E MISTURAS COM 7 TRATAMENTOS, SENDO 2 PONTOS CENTRAIS, PARA AS MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA, ÁGUA E PBV.....	52

TABELA 16 – MÉTODOS UTILIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE BANANA VERDE E DAS EMULSÕES.....	54
TABELA 17 – DEFINIÇÕES PARA OS ATRIBUTOS SENSORIAIS AVALIADOS NAS AMOSTRAS.....	60
TABELA 18 – COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA A BANANA VERDE....	62
TABELA 19 – PARAMETROS FISICO-QUIMICOS PARA A POLPA COZIDA DE BANANA VERDE.....	63
TABELA 20 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR CALÓRICO PARA TODAS AS FORMULAÇÕES.....	64
TABELA 21 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F_{51} E F_{52}), NA TEMPERATURA DE 10°C.....	69
TABELA 22 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F_{51} E F_{52}), NA TEMPERATURA DE 25°C.....	69
TABELA 23 – COEFICIENTES OBTIDOS DO MODELO QUADRÁTICO PARA OS PARÂMETROS: σ_{OH} , n , K , η_{AP} , NA TEMPERATURA DE 10°C.....	72
TABELA 24 – COEFICIENTES OBTIDOS DO MODELO QUADRÁTICO PARA OS PARÂMETROS: σ_{OH} , n , K , η_{AP} , NA TEMPERATURA DE 25°C.....	73
TABELA 25 – EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E ERRO PADRÃO PARA CADA PARÂMETRO REOLÓGICO: σ_{OH} , k , n e η_{ap}	73
TABELA 26 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO QUADRÁTICO PARA AS RESPOSTAS: TENSÃO INICIAL (σ_{OH}), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K), ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) E VISCOSIDADE APARENTE (η_{AP}) A 10 E 25°C.....	85
TABELA 27 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F_{51} E F_{52}), NA TEMPERATURA DE 10°C.....	91

TABELA 28 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F_{5_1} E F_{5_2}), NA TEMPERATURA DE 25°C.....	91
TABELA 29 – VALORES DOS PARÂMETROS DE COR DA POLPA DE BANANA VERDE E DAS EMULSÕES.....	102
TABELA 30 – DIFERENÇA TOTAL DE COR (ΔE^*) ENTRE EMULSÕES E A POLPA DE BANANA VERDE ($\Delta E^*_{_1}$) E ENTRE AS EMULSÕES E A MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL ($\Delta E^*_{_2}$).....	103
TABELA 31 – MEDIAS PARA TODAS A FORMULAÇÕES NO TESTE DE ADQ.....	105

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABERC	Associação Brasileira das Empresas de Refeições Coletivas	
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
AFBV	Associação Brasileira de Fomento a Banana Verde	
AGRIANUAL	Anuário da agricultura brasileira	
CEASA	Central de Abastecimento S.A	
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.	
FAEP	Federação da Agricultura do Estado do Paraná	
IAL	Instituto Adolfo Lutz	
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	
INIBAP	<i>Internacional Network for the Improvement of Banana and Plantain</i>	
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social	
PBV	Polpa de Banana Verde	
GL	Grau de liberdade	
K	Coeficiente de consistência	Pa.s ⁿ
K _H	Coeficiente de consistência de Herschel-Bulkley	Pa.s ⁿ
K _M	Coeficiente de consistência de Mizrahi-Berk	Pa.s ⁿ
K _{OC}	Coeficiente de consistência de Casson	Pa.s ⁿ
K _{OM}	Raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk	(Pa) ^{0.5}
n	Índice de comportamento	
n _H	Índice de comportamento de Herschel-Bulkley	
n _M	Índice de comportamento de Mizrahi-Berk	
QM	Quadrado da média	
R ²	Coeficiente de correlação	
SSR	Soma dos quadrados dos resíduos	
SQ	Soma dos quadrados	
χ ²	Qui-quadrado	
σ	Tensão de cisalhamento	Pa
γ	Taxa de cisalhamento	(1/s)
σ _{OH}	Tensão inicial de Herschel-Bulkley	Pa

η_{ap}	Viscosidade aparente	Pa.s
η_p	Viscosidade plástica de Bingham	Pa.s
x_i	Fatores das misturas	
a_i	Limite inferior – proporção original mínima	
b_i	Limite superior	
x_i'	Proporção em pseudocomponentes	
X_i	Proporção original	

RESUMO

A influência da polpa de banana verde (PBV), no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão foi investigada no presente trabalho. Cinco formulações foram desenvolvidas, utilizando o delineamento para superfícies limitadas e misturas, com as seguintes proporções de água/óleo/PBV: F1(0,10/0,20/0,70), F2(0,20/0,20/0,60), F3(0,10/0,25/0,65), F4(0,20/0,25/0,55) e F5 (0,15/0,225/0,625). As formulações obtiveram altos teores de sais minerais e baixo valor calórico. Apresentaram comportamento não-Newtoniano pseudoplástico a 10 e 25°C e os parâmetros reológicos foram bem representados pelo modelo de Herschel-Bulkley. As formulações com maior quantidade de polpa, (F1 e F3) foram as que apresentaram maior viscosidade aparente e maior tensão inicial. Pela Metodologia de Superfície de Resposta, descrita pelo modelo quadrático, foi verificado que a polpa de banana verde teve influência significativa no aumento da tensão inicial (σ_{OH}) e da viscosidade aparente (η_{ap}), enquanto que o óleo contribuiu para o aumento do coeficiente de consistência (K) e a água, do índice de comportamento (n) das emulsões. As curvas de fluxo para as emulsões após 15 dias de armazenamento apresentaram histerese e as curvas decrescente foram melhor ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley, mostrando também comportamento pseudoplástico, porém, com altos valores de tensão inicial. Todas as emulsões permaneceram estáveis até 30 dias com surgimento de retrogradação após esse período para F1, F2 e F3 e as amostras F4 e F5 permaneceram estáveis mesmo após 60 dias de armazenamento. As amostras F1 e F3 apresentaram-se mais próximas da coloração da maionese comercial precedidas das formulações F5 e F2. Não houve diferença significativa entre as formulações para o sabor geral e a F3 foi preferida pelos julgadores pelo teste de preferência da Escala Hedônica. A aceitação das emulsões foi confirmada pela atitude de compra em que 75% dos provadores comprariam o produto.

Palavras chave: polpa de banana verde, reologia, análise sensorial, metodologia de superfície de resposta.

ABSTRACT

The influence of green banana pulp (GBP) on the rheological behaviour, sensory evaluation and chemical characteristics of an emulsion was investigated in this work. Five formulations were developed, according to design for constrained surfaces and mixtures, with the following proportion, respectively: water/oil/GBP: F1(0,10/0,20/0,70), F2(0,20/0,20/0,60), F3(0,10/0,25/0,65), F4(0,20/0,25/0,55) and F5 (0,15/0,225/0,625). The samples presented high values for minerals salts and low calories. The emulsions have shown a shear-thinning behaviour at 10 and 25°C and were well described by the Herschel-Bulkley model. The formulations with high pulp content (F1 e F3) presented higher apparent viscosity and yield stress. Following the response surface methodology, described by the quadratic model, could be noticed that the GBP had a significant influence on the rise of yield stress and apparent viscosity, while the oil increased the consistency coefficient and the water contributed to the rising of the flow behaviour index of the emulsions. The flow curves to the emulsions after 15 days of storage presented histeresis and the down curves were well fitted by the Herschel-Bulkley model, also had a shear-thinning behavior, nevertheless, the rheological parameter yield stress was very high to those formulas. All samples presented stability until 30 days with a retrodegradation after this period to the formulas (F1, F2 and F3) while F4 and F5 stayed steady until after 60 days of storage. F1 e F3 samples presented closer to the traditional mayonnaise color attribute followed by F5 e F2. The overall flavour had no statistical difference to all samples and F3 had the better score to hedonic scale. The acceptance of the emulsion was confirmed by purchase intent where 75% of the consumers would buy the product.

Keywords: green banana pulp, rheology, sensory evaluation, response surface methodology

1. INTRODUÇÃO

A banana é considerada principal fonte de alimentação e renda anual em muitos países (ZHANG et al., 2004). O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de banana, é também o que apresenta maior desperdício, em certas regiões chega-se a perder até 60% da produção, pois a fruta apresenta vida útil muito curta e precisa ser consumida rapidamente. Por outro lado, visando à diminuição dessas perdas, a banana ainda verde vem sendo considerada como um produto ideal para ser industrializado (BORGES, 2003).

A banana quando cozida verde, perde tanino, responsável pela adstringência (VALLE e CAMARGOS, 2003) e a polpa permite a produção de vários alimentos, como pão, nhoque (entre outras massas), patês e maionese o que ressalta a importância dessa matéria-prima, que está principalmente em sua diversidade de aplicações (FIBRA NEWS, 1990; BRUNO e BORGES, 1997; COSTA e BORGES, 1997). Sua utilização em alimentos é de extensão considerável, pois não altera o sabor, aumenta a quantidade de fibras, proteínas e nutrientes, além de aumentar significativamente o rendimento dos produtos (VALLE e CAMARGOS, 2003).

O desenvolvimento de uma emulsão (maionese) adicionada de polpa de banana verde é uma maneira de agregar valor nutritivo a um produto que pode ser consumido em larga escala. Segundo McCLEMENTS (1999) maionese é uma emulsão óleo em água que contém: gema de ovos, vinagre, agentes estabilizantes e flavorizantes. Amidos modificados, goma xantana, pectina e carboximetilcelulose são geralmente utilizados para estabilizar a emulsão e aumentar a viscosidade de maioneses com menor teor de gordura (MA e BARBOSA-CANOVAS, 1994).

A polpa de banana verde contém de 70 a 80% de amido, em base seca, que é comparável ao endosperma do grão de milho com a polpa de batata branca (ZHANG et al., 2004), podendo ser utilizada em maioneses como modificador de textura e volume além de substituir parcialmente a concentração de óleo e totalmente os ovos já que a polpa pode agir como estabilizante.

Para a definição dos processos na indústria de alimentos é indispensável o conhecimento das propriedades físicas, químicas e características sensoriais dos produtos.

A aceitação de alimentos a base de banana verde tem sido alvo de vários estudos, principalmente porque se trata de fonte alternativa de nutrientes saudáveis ao consumidor (SUNTHARALINGAM e RAVINDRAN, 1993, RANZANI et al., 1995, VALLE e CAMARGOS, 2003, BORGES, 2003, TAIPINA et al., 2004).

As medidas reológicas são consideradas como uma ferramenta analítica por fornecer uma introspecção da organização estrutural dos alimentos (STEFFE, 1996), sendo os dados reológicos não só essenciais em processos, controle de qualidade, projetos, avaliação e operação dos equipamentos (IBARZ et al., 1996), como também em estabilidade e avaliações sensoriais (ABU-JDAYIL et al., 2002).

Muitos autores têm estudado as propriedades reológicas de maionese (PONS et al., 1994) e os modelos Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Casson são os mais utilizados para descrever o comportamento de maioneses e molhos para saladas (PAREDES et al., 1989; MA e BARBOSA-CANOVAS, 1995).

BRANCO e GASPARETTO, (2003 e 2005), AHMED et al., (2005) e HAMINIUK et al. (2006b) utilizaram a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) com o objetivo de prever e modelar os parâmetros reológicos de polpa de frutas. Segundo DINIZ e MARTIN (1996) esta é uma técnica muito utilizada no estudo das variáveis e sua influência no desempenho das medidas ou características de qualidade do produto ou processo sob investigação.

No presente trabalho, a polpa de banana verde foi utilizada no preparo de emulsões (maionese) e as características físico-químicas, sensoriais e reológicas desse produto foram avaliadas. A estabilidade das emulsões foi observada durante 60 dias através de microscopia e a Metodologia de Superfície de Resposta foi empregada no estudo dos parâmetros reológicos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a influência da polpa de banana verde no comportamento reológico, físico-químico, sensorial e na estabilidade de emulsão.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver as emulsões baseadas no delineamento experimental;
- Caracterizar as propriedades físico-químicas da polpa de banana verde e das formulações de emulsões;
- Descrever o comportamento reológico das emulsões nas temperaturas de 10 e 25°C e ajustar os dados obtidos pelos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk;
- Avaliar por Metodologia de Superfície de Resposta a influência das concentrações de: polpa de banana verde, óleo de soja e água, nos parâmetros reológicos obtidos do modelo que teve melhor ajuste;
- Descrever o comportamento reológico das emulsões após 15 dias de armazenamento;
- Observar durante 60 dias a estabilidade das emulsões por microscopia;
- Comparar por análise colorimétrica a cor das formulações com a polpa de banana verde e com a maionese comercial tradicional;
- Verificar as características sensoriais das emulsões por Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) e teste de preferência pela Escala Hedônica;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BANANA (*Musa paradislaca* L)

A banana é o fruto da bananeira, uma planta herbácea da família *Musaceae*. Constitui o quarto produto alimentar mais produzido no mundo, precedida do arroz, trigo e milho.

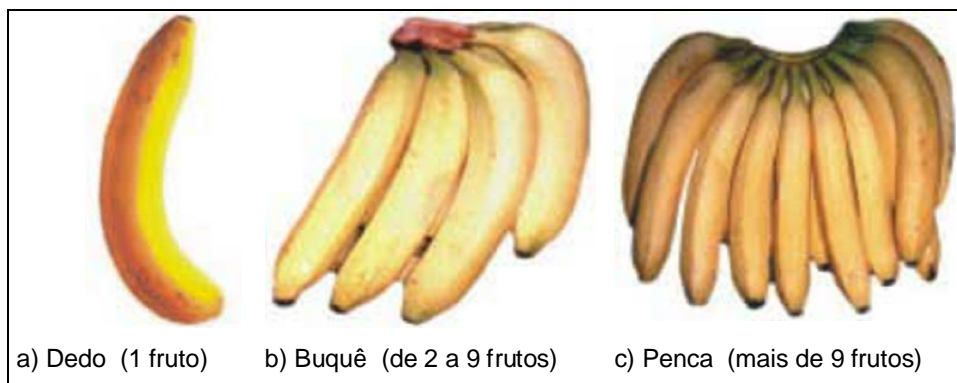
A bananeira é uma planta não-lenhosa, cujo falso tronco é formado por camadas sucessivas de folhas sobrepostas, constituindo um conjunto rígido. O caule verdadeiro, rizoma, é subterrâneo e as bananas se formam a partir de um pseudocaule que só dá fruto uma única vez e morre em seguida, devendo ser cortado imediatamente após a colheita para fortificar o rizoma, que fornecerá novos brotos (VALLE e CAMARGOS, 2003).

Com sementes frágeis e pequenas, de difícil proliferação, a banana é plantada por meio de bulbos, ou mudas, que se alastram pelo subsolo e se reproduzem indefinidamente, como o bambu, a cana e outras gramíneas. As sementes, portanto, são utilizadas em testes genéticos, nos cruzamentos monitorados visando à melhoria da qualidade e resistência à pragas e predadores.

No Brasil estes testes são conduzidos pela EMBRAPA e mundialmente pela Rede Internacional para a Melhoria da Banana e do Plátano (*Internacional Network for the Improvement of Banana and Plantain* – INIBAP – França), que surgiu com o objetivo de enfrentar a *Sigatoka negra*, doença provocada por fungo extremamente destrutivo, que estava se propagando com rapidez pela África e América Latina na década de 80 (VALLE e CAMARGOS, 2003).

Na Figura 01 pode-se visualizar a classificação da banana segundo a Cartilha de Classificação das Frutas da FIEP.

FIGURA 01 – REPRESENTAÇÃO DA BANANA: DEDO, BUQUE E PENCA



FONTE: Hortiquidade, Cartilha de Classificação das Frutas – FIEP.

A safra se estende de janeiro a julho, mas a colheita pode ser feita em diversas etapas de desenvolvimento dos frutos, segundo a distância do mercado consumidor ou a finalidade a que se destina. De modo geral, são colhidas tanto mais cedo quanto maior for o tempo necessário para serem transportadas do local de cultivo ao mercado consumidor e quanto mais quente for a estação do ano (VALLE e CAMARGOS, 2003).

O amadurecimento é o resultado de mudanças complexas que ocorrem no fruto. As principais mudanças que podem ser observadas são: aumento de taxa respiratória, aumento na produção de etileno, aumento na concentração de açúcares, solubilização das substâncias pécticas, degradação de pigmentos, aumento na concentração de fenólicos e ácidos, produção de voláteis, variações nos teores de enzimas, vitaminas, minerais e mudanças na permeabilidade dos tecidos (CHITARRA e CHITARRA, 1984).

Na banana estas alterações são bem definidas, já que se trata de uma fruta climatérica, ressaltando-se, como fenômeno metabólico de maior importância, a respiração. Essa respiração apresenta características marcantes, sendo o pico climatérico o momento de maior liberação de CO_2 pela fruta, marcando o início de senescência da mesma (SILVA et al., 2006).

2.1.1 Classificação Botânica

As bananas pertencem à classe *Monocotyledoneae*, da ordem *Scimitales*. A família *Musaceae* possui três subfamílias, uma delas a *Musoideae* com dois gêneros, o gênero *Musa*, onde se encontram os frutos comestíveis e de interesse tecnológico e o gênero *Ensete* com frutos ornamentais. As variedades do gênero *Musa* apresentam cerca de 30 espécies seminíferas, ou seja, variedades com polpa abundante e desprovidos de sementes (JOLY, 1991; CRUZ, 1995).

A nomenclatura *Musa* foi criada por Linneu, 63 a 14 a.C. Atualmente a classificação das variedades se dá de acordo com os grupos cromossômicos, segundo a classificação de Simmonds (ITAL, 1990; JOLY, 1991). A Tabela 1 mostra a classificação histórica de Linneu e a classificação de Simmonds, para as variedades de banana.

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO E VARIEDADES DE BANANAS, SEGUNDO LINNEU E SIMMONDS

CLASSIFICAÇÃO	VARIEDADES
SEGUNDO LINNEU	
<i>Musa cavendishii</i>	Nanica (Caturra), Nanicão, Grand-naine, Baé, Anã, China, Cambota
<i>Musa sapientum</i>	Marmelo, Ouro, Prata, Maçã, Branca, Caru-roxa, Caru-verde, São Tomé, Figo, Sta Maria
<i>Musa paradisiaca</i>	Da Terra, Farta-velhaco, Pacová, Comprida ou Chifre de boi
SEGUNDO SIMMONDS	
Grupo diplóide Acumiata AA	Banana ouro
Grupo triplóide Acumiata AAA	Nanica, Nanicão, Gros-michel, Caru-roxa, Caru-verde
Grupo triplóide Híbrido natural AAB	Terra, Maçã, Pacová e Prata
Grupo triplóide Híbrido natural ABB	Marmelo

Fonte: ITAL, 1990; JOLY, 1991.

As cultivares mais difundidas no Brasil são as do grupo Prata (*Prata*, *Pacovan* e *Prata-Anã*), do grupo Nanica (*Nanica* ou *Caturra*, *Nanicão* e *Grande Naine*) e Maçã. As variedades Prata e Pacovan ocupam aproximadamente 60% da área cultivada com banana no Brasil (OLIVEIRA et al., 1999).

FÁVARO (2003) e AGRIANUAL (2003) mostram que estudos com novas variedades têm se intensificado em função da possibilidade de extinção de algumas

delas, devido à vulnerabilidade ao ataque de fungos. Hoje se aprecia muito a variedade *Nanica*, altamente susceptível ao mal da *Sigatoka Negra*, portanto a variedade *Nanicao* vem gradativamente substituindo a *Nanica* por apresentar maior resistência e maior produtividade, além de apresentar características organolépticas bastante semelhantes à *Nanica*. Outras variedades como a *Mysore*, *Pioneira* e *Nhangambi*, são também mais resistentes a doenças, possuem sabor ligeiramente diferente da *Nanica*, mas são frutos muito saborosos.

Em 2002 a EMBRAPA colocou a disposição dos produtores de Pernambuco a variedade *Pacovan Ken*, que é superior a *Pacovan Prata* em termos de tamanho, produtividade, resistência a doenças como Mal da Sigatoka Negra, Mal da Sigatoka Amarela e ao Mal do Panamá.

2.1.2 Importância Econômica

Originária na Ásia, mais especificamente na Índia e conhecida na China desde a antiguidade, a banana espalhou-se para as Ilhas do Pacífico e a costa leste da África, de onde os povos a disseminaram por todo o continente (VALLE e CAMARGOS, 2003).

Há controvérsias quanto à introdução da banana no Brasil, alguns historiadores afirmam ter sido trazida por colonizadores, outros, que a banana já era nativa das florestas brasileiras (EMBRAPA, 1994; ITAL, 1990).

A banana representa no âmbito nacional uma produção de aproximadamente 6,6 milhões de toneladas ao ano, o que corresponde a 9,3% da produção mundial, sendo o Brasil o segundo maior produtor e a Índia o primeiro produtor mundial com 24% (FAO, 2004).

A cultura da banana ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas no Brasil, perdendo apenas para a laranja (ALMEIDA et al., 2001). O consumo aparente *per capita* da banana no Brasil é estimado em torno de 20 kg/hab./ano, tendo se reduzido na década de 90, por efeito-substituição causado pela entrada de outras frutas no mercado, a preços convidativos e de boa qualidade. A estrutura de comercialização consiste, quase sempre, na participação direta do produtor e do comprador, sendo que os CEASAS apenas centralizam a distribuição dos produtos nas capitais (MASCARENHAS, 1999).

Seu cultivo é realizado em todos os estados da federação, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior e o Estado de São Paulo é o primeiro produtor nacional, responsável por 18% da produção (aproximadamente um milhão e duzentas mil toneladas), cultivando principalmente a espécie *Nanicao* (IBGE, 2004), a Bahia, que produz a variedade *Nanica* e *Prata*, vem em segundo lugar, produzindo cerca de 700mil toneladas e empatados em terceiro lugar estão os estados do Pará, Minas Gerais e Santa Catarina, que produziram cerca de 560mil toneladas das variedades *Prata* e *Nanica* (AGRIANUAL, 2003).

Embora tendo a banana em abundância, o Brasil não exporta mais que 2% de seus mais de 750 milhões de cachos, ou seja, menos de 12 milhões de cachos saem do país anualmente com destino à Argentina, Itália e Inglaterra. O cartel da banana é formado, sobretudo pelas Ilhas Canárias, Equador e Costa Rica, que monopolizam as vendas para o restante da Europa e Estados Unidos (VALLE e CAMARGOS, 2003). A Tabela 02 mostra a produção brasileira até setembro de 2006 por regiões e estados.

TABELA 02 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BANANA, EM TONELADAS NO ANO DE 2006

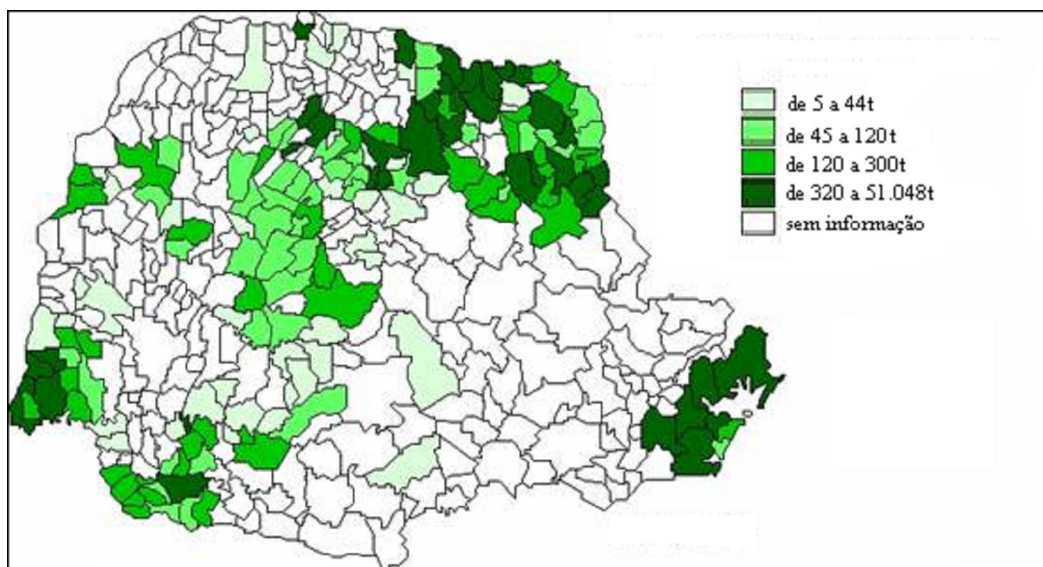
PRODUÇÃO DE BANANA NO BRASIL, REGIÃO E ESTADO	PRODUÇÃO EM TONELADAS
Brasil	7.077.204
Norte	1.038.895
Nordeste	2.813.010
Sudeste	2.013.920
Sul	986.152
Centro-Oeste	225.227
Rondônia	46.404
Acre	73.734
Amazonas	294.187
Roraima	36.454
Pará	549.553
Amapá	2.845
Tocantins	35.718
Maranhão	123.764
Piauí	25.066
Ceará	407.873
Rio Grande do Norte	210.207
Paraíba	393.496
Pernambuco	373.146
Alagoas	53.445
Sergipe	64.892
Bahia	1.161.121
Minas Gerais	549.170
Espírito Santo	178.462
Rio de Janeiro	161.408
São Paulo	1.124.880
Paraná	226.826
Santa Catarina	641.177
Rio Grande do Sul	118.149
Mato Grosso do Sul	9.435
Mato Grosso	58.400
Goiás	155.418
Distrito Federal	1.974

FONTE: IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

Nota: Para as Unidades da Federação, que por força do calendário agrícola, ainda não dispõem das estimativas iniciais, os dados correspondem a uma projeção obtida a partir das informações de anos anteriores.

A produção de banana no estado do Paraná em toneladas está representada no mapa da Figura 02 e pode ser verificado que as maiores quantidades de banana produzidas em 2004 estão na região litorânea, nas regiões norte e nordeste e também na região oeste do estado.

FIGURA 02 - QUANTIDADE PRODUZIDA EM TONELADAS DE BANANA NO ESTADO DO PARANÁ EM 2004.



Fonte: IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2006.

Com relação à formação do preço, a mesma depende dos seguintes fatores: procura, qualidade e quantidade ofertada. No Brasil, a quantidade de banana ofertada é grande, no entanto, a qualidade do produto, em determinados locais, ainda deixa a desejar, contribuindo para que o preço, principalmente para o produtor, seja baixo. A qualidade da banana e a adoção de estruturas precárias de produção e comercialização são consideradas entraves à exportação da fruta pelo País (PIZZOL e ELEUTÉRIO, 2000).

2.1.3 Banana como Matéria-prima

As perdas da produção de banana são bastante elevadas devido a sua alta perecibilidade e a tecnologia precária utilizada pelos bananicultores. Segundo a Associação dos Bananicultores de Registro, região responsável por 70% do volume produzido em São Paulo (IEA, 1999), 60% da produção se perde por falhas desde a plantação até a comercialização e a maior parte da produção é destinada ao consumo *in natura*. Estas perdas podem ser reduzidas pelo processamento das frutas rejeitadas para comercialização e neste caso o purê de banana é um dos produtos mais indicados, por haver um aumento de tempo para o consumo da fruta e

este poder ser usado como ingrediente de um grande número de produtos industrializados tais como gelatina, bolo, pão, tortas, iogurte, sorvete, pudim, alimentos infantil, entre outros (CARVALHO FILHO e MASSAGUER, 1997).

MEDINA et al. (1995) citam algumas alternativas do emprego da banana como matéria-prima para a produção de alimentos, como o purê, néctar, doces, sucos, banana passa e bananada. Outros autores, como HUFENUSSLER (1985), LOURES et al. (1990), BACETTI (1993), TRAVAGLINI (1993), THOMPSON (1995) e LORETO (1996) apresentam alternativas de industrialização, como a obtenção de farinha de banana verde ou madura, banana chips, cereais matinais, balas, geléias, vinho, vinagre, álcool e amido. Tais produtos são pouco explorados pelos bananicultores, devido ao desconhecimento das técnicas de processamento ou em função dos custos (RANZANI et al., 1995; BORGES et al., 1997; OLIVEIRA, 1997).

No Brasil, os processamentos mais comumente encontrados utilizam a banana madura (Tabela 03), principalmente na região do Vale do Ribeira (CHAPARRO, 1991; BATISTA FILHO e FRAGA, 1994).

TABELA 03 – RELAÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS ORIUNDOS DA AGROINDÚSTRIA BANANEIRA

BANANA PASSA – banana madura, desidratada, umidade final de 20 a 25%. Mercado limitado por falta de qualidade e costume.

BANANA EM CALDA – fatias ainda não totalmente maduras, enlatadas. Possui textura variável, sabor pouco intenso e com vida útil limitada.

BANANADA - doce de massa, produzido a partir do purê de banana com adição de sacarose.

PURÊ – polpa de banana totalmente madura, homogeneizada, esterilizada em vapor assepticamente empacotada. Usado principalmente na alimentação de bebês, sobremesas congeladas, iogurtes e produtos de panificação.

FARINHA DE BANANA – obtidas por secagem natural ou artificial de bananas verdes, semi-verdes, ou maduras.

BANANA CHIPS – fatias de banana verde fritas.

BANANAS EM FLOCOS – polpa de banana madura, homogeneizada e desidratada, é usada como ingrediente de alimentos, pudins, pães entre outros.

FONTE: BORGES, 2003.

2.1.4 Aspectos Nutricionais

A boa aceitação da banana deve-se aos seus aspectos sensoriais e valor nutricional, consistindo em fonte energética devido à presença de carboidratos, contendo minerais como o potássio e vitaminas.

A casca da banana constitui-se em uma "embalagem" individual, de fácil remoção, higiênica e, portanto, prática e conveniente. A ausência de suco na polpa, de sementes duras e a sua disponibilidade durante todo o ano também contribuem para a sua aceitação (LICHTENBERG, 1999).

Contendo caloria principalmente sob a forma de sacarose, frutose, glicose e amido, a banana supera a maçã, a pêra, a cereja e o pêssego em teor de proteínas e lipídios. Pelos seus aspectos nutricionais a polpa de banana pode ser recomendada em casos específicos como: regulador da pressão sangüínea, depressão, câimbras (as contrações espasmódicas dos músculos são atenuadas devido à grande quantidade de potássio, que mantém o equilíbrio eletrolítico do organismo), tabagismo, estresse, úlcera e outros (VALLE e CAMARGOS, 2003).

Na Tabela 04 são mostrados alguns valores da composição química da banana madura.

TABELA 04 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BANANA MADURA POR 100g

PARÂMETROS	Food Composition and Nutrition Tables (1991) 100g	USDA (2002) 118g	Tabela TACO (2006) 100g
Umidade	75g	74%	73,8%
Proteína	1,2g	1g	1,4g
Carboidratos	20,8g	28g	23,8g
incluindo sacarose			
Lipídios	0,2g	1g	0,1g
Fibra	2g	2,8 g	1,9g
Sais minerais	0,8g	-	0,8g
pH	4,9g	-	-
Cálcio	3mg	7mg	3mg
Magnésio	5mg	-	28mg
Potássio	396mg	467mg	376mg
Sódio	1,5mg	1mg	-
Fósforo	30mg	-	27mg
Ferro	0,2mg	-	0,3mg

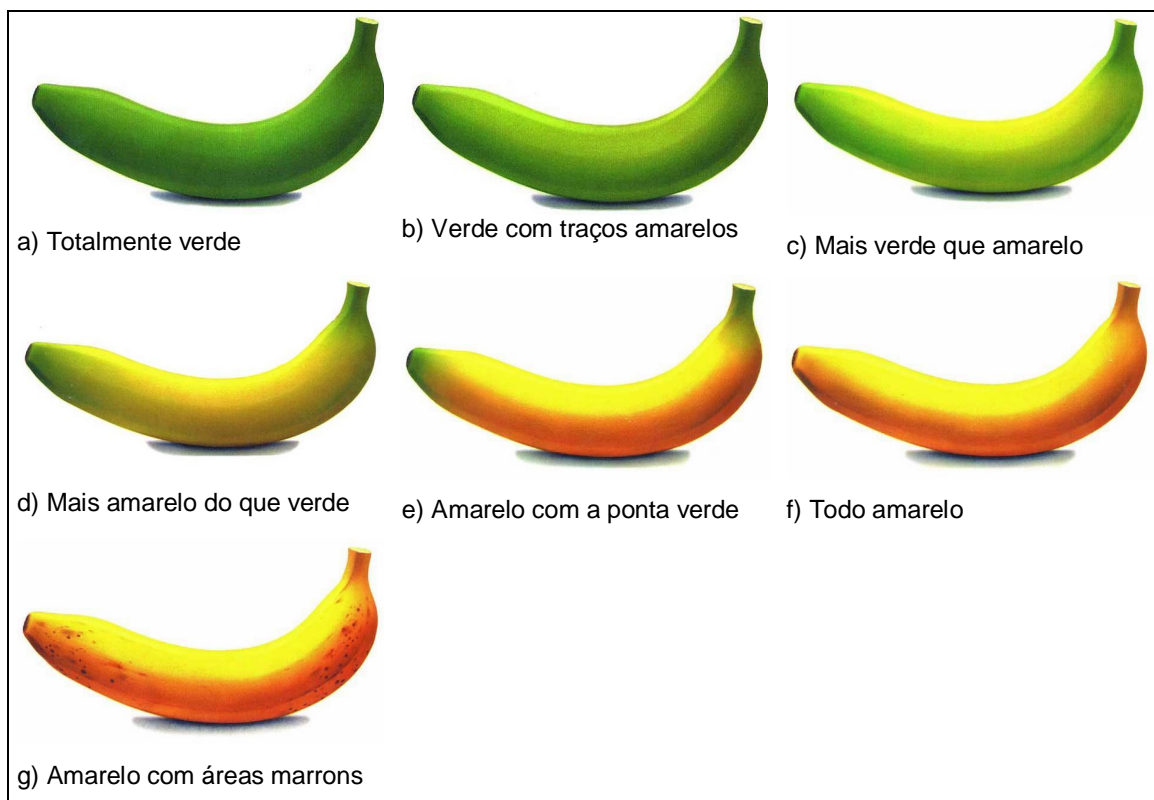
2.1.5 Banana Verde

Em países como Cuba, a banana é consumida verde, cortada em fatias e frita, na África Central é utilizada no fabrico de cerveja e entra no cardápio do Equador, cozida nos ensopados de milho e carne, bem como numa mescla de comidas dos indígenas peruanos (VALLE e CAMARGOS, 2003).

A possibilidade da utilização da banana verde na indústria alimentícia é de praticamente 100%, a folha para produção de papéis, o caule para produção de telhas, a casca, rica em fibras, serve para preparação de quibes, cuscuz, bobó de camarão, vatapás e outros pratos típicos, pudins, mingaus de fibras, pastéis e sopas, além da polpa (biomassa) cuja aplicação em alimentos tem demonstrado extrema importância (ARRUDA, 2002).

A composição das bananas muda drasticamente durante o amadurecimento. VON LOESECHE (1950) classificou o amadurecimento da banana em sete estágios de acordo com a cor da casca como mostra a Figura 03:

FIGURA 03 – CLASSIFICAÇÃO DA BANANA VERDE SEGUNDO ESCALA DE MATURAÇÃO



FONTE: Hortiqualidade, Cartilha de classificação de frutas – FAEP

As mudanças no amadurecimento de bananas também foram investigadas por LII et al. (1982), que relacionaram o conteúdo de amido, açúcares redutores, não-redutores e a temperatura de gelatinização em nove estágios conforme a cor da casca como está descrito na Tabela 05:

TABELA 05 - COMPOSIÇÃO APROXIMADA DE BANANAS A DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO, CLASSIFICADAS PELA COR DA CASCA.

ESTÁGIO	COR DA CASCA	AMIDO (%)	AÇÚCARES REDUTORES (%)	SACAROSE (%)	TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO (°C)
1	Totalmente verde	61,7	0,2	1,2	74-81
2	Verde	58,6	1,3	6,0	75-80
3	Verde com traços amarelos	42,4	10,8	18,4	77-81
4	Mais verde que amarelo	39,8	11,5	21,4	75-78
5	Mais amarelo que verde	37,6	12,4	27,9	76-81
6	Amarelo com as pontas verdes	9,7	15,0	53,1	76-80
7	Todo amarelo	6,3	31,2	51,9	76-83
8	Amarelo com traços marrons	3,3	33,8	52,0	79-83
9	Amarelo com muitos traços marrons	2,6	33,6	53,2	-

FONTE: LII et al., 1982.

LII et al., (1982) também analisaram a polpa da banana verde da variedade *Taiwan* (crua) e compararam com os valores encontrados para a mesma no estágio madura em que se verifica grande diferença nos teores de amido, sacarose e açúcares redutores entre os estágios de maturação, conforme descrito na Tabela 06:

TABELA 06 – PARÂMETROS COMPARATIVOS ENTRE BANANA VERDE E MADURA DA VARIEDADE TAIWAN.

PARÂMETROS	RESULTADOS (%) BANANA VERDE	RESULTADOS (%) BANANA MADURA
Proteínas	5,30	5,52
Lípidios	0,78	0,68
Fibra bruta	0,49	0,30
Cinzas	3,27	4,09
Amido	62,0	2,58
Sacarose	1,23	53,2
Açúcares redutores	0,24	33,6

FONTE: LII et al., 1982.

As propriedades funcionais do amido isolado da polpa de banana verde e da farinha da polpa de frutos verdes foram estudadas por CARSON (1971), que verificou que a polpa seca, finamente moída, apresenta propriedades semelhantes às do amido isolado, surgindo desta forma a possibilidade de utilizar a banana na forma de farinha, o que permitiria o uso das frutas rejeitadas para a venda *in natura*.

Estudos têm mostrado características terapêuticas da banana quando ainda verde. Segundo LEWIS et al. (1999) o fruto verde é rico em flavonóides, que atuam protegendo a mucosa gástrica. KAYISU e HOOD (1981) e KAYISU et al. (1981) mostraram que também no estágio verde os frutos apresentam amido resistente, que se define como a soma do amido e produtos de sua degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis, o qual possui ação de fibras alimentares (COSTA e BORGES, 1997; TEIXEIRA et al., 1998, LAJOLO et al., 2001).

O teor de amido resistente da banana verde é elevado, variando de 25 a 33% na farinha da polpa de diferentes cultivares (CORDENUNSI et al., 2000). A presença de amido resistente (AR) na elaboração de produtos é de interesse tanto para a indústria de alimentos como para o consumidor. O AR pode ser utilizado na elaboração de produtos com reduzido teor de lipídios e /ou açúcares e como fonte de fibra alimentar (LAJOLO et al., 2001).

Com relação ao teor de amilose (em base seca) o amido de milho contém cerca de 25,55% e o amido de banana verde 19,20% (TEIXEIRA et al, 1998).

O processamento da banana verde, embora exija algumas condições especiais de colheita, como ponto de maior concentração de amido e menor teor de umidade, é menos exigente no que diz respeito ao desenvolvimento de substâncias aromáticas desejáveis e açúcares (BORGES, 2003).

A polpa de banana, quando verde, não apresenta sabor. Trata-se de uma massa com alto teor de amido e baixo teor de açúcares e aromáticos. POIANI e BORGES (1996) propuseram a produção de massa de polpa de banana verde e a massa da casca. VALLE e CAMARGOS divulgaram vários alimentos feitos à base de banana verde. ARRUDA (2002), BIANCHI (2002) e KISS e MINILLO (2002), referem-se a esta massa como “biomassa”, que pode ser adicionada a outros alimentos, enriquecendo-os sem que haja alteração no seu sabor e odor.

Análises químicas efetuadas pelo Laboratório Bromatológico Nacional revelaram os exames físico-químicos realizados na polpa cozida de banana verde, conforme descrito na Tabela 07.

TABELA 07 – COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE BANANA VERDE COZIDA

PARÂMETROS	RESULTADOS (%)
Umidade	64,79
Proteínas	1,33
Lipídios	5,96
Fibra bruta	1,51
Cinzas	6,01
Amido	19,64
Açúcares totais	0

FONTE: Laboratório Bromatológico Nacional, São Paulo, 2002.

BORGES (2003) avaliou o potencial vitamínico de banana verde e produtos derivados e utilizou a polpa na produção de nhoque e pão.

NUNEZ-SANTIAGO et al. (2004) e ZHANG e WHISTLER (2002) investigaram as propriedades do amido de banana verde, IZIDORO et al. (2005) compararam as propriedades reológicas do amido de banana verde e de milho e TAIPINA et al. (2004) estudaram a aplicação da polpa em suco de manga.

A casca se apresenta como uma alternativa para aproveitamento integral da banana. A massa de casca de banana verde pode ser acrescentada aos alimentos aumentando seu teor de fibras ou introduzindo outras qualidades alimentares (FIBRA NEWS, 1990; POIANI e BORGES, 1996).

No âmbito do Município de São Paulo, criou-se um projeto de lei em que ficou obrigada a utilização de *biomassa* de banana verde como base para a preparação de no mínimo um item que componha as refeições distribuídas por albergues, creches e escolas (SÃO PAULO, 2003).

Em setembro de 2003, foi criada a Associação Brasileira de Fomento à Banana Verde (AFBV), para difundir o uso da banana verde ou a *biomassa*, como nova fonte na produção de alimentos e com a proposta de combater a fome, a desnutrição e o desperdício na produção da fruta além de unir vários segmentos da sociedade, produção, agricultura, serviços, pesquisadores e consumidores, para alavancar e expandir o Agronegócio (ABERC, 2003).

2.2 COLÓIDES

Colóides são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases diferentes, com a matéria de uma das fases na forma finamente dividida (sólido, líquido ou gás), denominada fase dispersa, misturada com a fase contínua (sólido, líquido ou gás), denominada meio de dispersão. Pelo menos um dos componentes da mistura apresenta uma dimensão no intervalo de 1 a 1000 nanômetros ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Soluções de macromoléculas são misturas homogêneas e também são consideradas colóides porque a dimensão das macromoléculas está no intervalo de tamanho coloidal e, como tal, apresentam as propriedades características dos colóides (SHAW, 1975).

Os princípios relacionados com os diferentes sistemas coloidais baseiam-se em propriedades comuns a todos os colóides: tamanho de partículas e elevada relação área/volume. As partículas dispersas podem ter tamanhos diferentes e por isso o sistema coloidal é denominado polidisperso. Os sistemas com partículas de um mesmo tamanho são monodispersos (SHAW, 1975).

As dispersões coloidais mais freqüentes em alimentos estão descritas na Tabela 08:

TABELA 08 – TIPOS DE DISPERSÕES COLOIDAIIS EM ALIMENTOS

FASE DISPERSA F1	FASE DISPERSANTE F2	F1/F2	CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
Sólido	Líquido	S/L	Sol	Solução de pectina
Líquido	Líquido	L/L	Emulsão	Maionese
Gás	Líquido	G/L	Espuma	Clara de ovo batida
Gás	Sólido	G/S	Espuma sólida	Sorvete

FONTE: BOBBIO, 1995.

Os tipos de colóides estão descritos a seguir com as respectivas aplicações tecnológicas:

2.2.1 Sol

Colóide constituído de partículas sólidas finamente divididas, dispersas em um meio de dispersão líquido. Os sóis são classificados em liofílicos, que

apresentam partículas dispersas com maior afinidade com o solvente, são mais estáveis e semelhantes à solução verdadeira, e liofóbicos, cujas partículas não atraem fortemente as moléculas de solvente e coagulam ou precipitam facilmente. As dispersões coloidais mais concentradas formam sistemas mais viscosos denominados pastas (SHAW, 1975).

2.2.2 Gel

Colóide no qual a interação do líquido com partículas muito finas induz o aumento da viscosidade, tornando-se uma massa com partículas organizadas no meio de dispersão formando uma rede de partículas enfileiradas como um colar. Esses colóides formam uma rede com natureza elástica e gelatinosa, tal como gelatina ou geléia de frutas, ou como um sólido rígido como sílica gel (SHAW, 1975).

2.2.3 Espuma

Sistema coloidal constituído de bolhas de gás muito pequenas, dispersas em um meio líquido, como no caso da espuma de sabão, ou em um meio sólido, como a espuma de poliestireno conhecida como isopor. As proteínas são bons estabilizantes de espumas em alimentos, tais como clara de ovo batida em neve, *marshmallow* e creme chantili (SHAW, 1975).

2.2.4 Emulsões

Emulsões são dispersões de uma fase líquida em forma de pequenas gotas em outra fase líquida imiscível. As duas fases imiscíveis geralmente são óleo e água. A mudança na energia livre durante a formação da emulsão é usualmente positiva e por esta razão as emulsões são termodinamicamente instáveis. Proteínas e surfactantes de baixo peso molecular são utilizadas para conferir a emulsificação evitando coalescência das gotas promovendo maior vida-de-prateleira (DICKINSON 2003). Como exemplo de emulsificante bastante utilizado tem-se a lecitina de soja, (extraída na etapa de degomagem do óleo de soja) que possui caráter anfótero no qual parte da molécula liga-se a água e a outra parte ao óleo.

Ao se tratar de emulsões, é necessário distinguir claramente cada uma das duas fases presentes. A fase que está presente na forma de gotas, finamente divididas, denomina-se de fase dispersa ou interna, a fase que forma a matriz em que se suspendem estas gotas, de fase contínua ou externa. A distinção entre os tipos diferentes de emulsão consiste em notar qual componente é contínuo e qual a fase dispersa. Assim, podem existir uma emulsão óleo em água (óleo é a fase dispersa) ou uma emulsão água em óleo (água é a fase dispersa). Estes tipos de emulsão se abreviam convenientemente como O/W e W/O respectivamente¹ (BECHER, 1972).

Polissacarídeos são bastante utilizados na indústria de alimentos para estabilizar emulsões óleo em água e controlar suas propriedades reológicas (PARASKEVOPOULOU et al., 2003; PHILLIPIS e WILLIMS, 2000).

A maioria dos polissacarídeos mostra alguma atividade surfactante e a sua incorporação em emulsões tem o objetivo de inibir o *creaming* pelo aumento da viscosidade da fase aquosa e assim preservando a textura desejada para a emulsão. Os principais estabilizantes utilizados são: goma xantana, galactomananas, amido e amido modificado, propileno glicol alginato, pectina e carboximetilcelulose (PARASKEVOPOULOU et al., 2005).

As emulsões são importantes pela sua freqüência em alimentos, como mostra a Tabela 09:

TABELA 09 - PRINCIPAIS TIPOS DE EMULSÕES EM ALIMENTOS

ALIMENTOS	TIPO DE EMULSÃO
Leite e creme de leite	O/W, estabilizada por fosfolipídios e proteínas
Manteiga	W/O, estabilizada por fosfolipídios proteínas e aditivos emulsionantes sintéticos
Maionese	O/W estabilizada por fosfolipídios, proteínas e polissacarídeos
Mousse e sorvete	O/W, estabilizada por fosfolipídios, proteínas e polissacarídeos

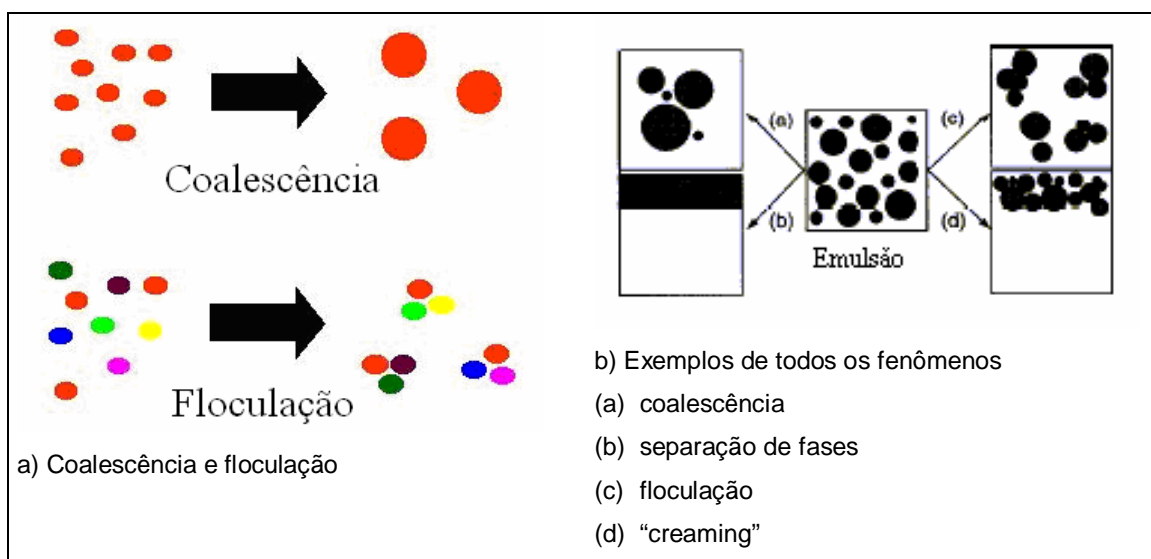
FONTE: BOBBIO, 1995.

Diferentes fenômenos ocorrem em emulsão (Figura 04), tais como: a) *creaming*, que resulta da flutuação das gotas dispersas para a superfície da

¹ Os símbolos O/W e W/O provêm das palavras inglesas "oil" e "water", azeite e água. Estes símbolos originais ingleses estão adaptados de forma geral em todo mundo.

emulsão; b) coagulação das gotas (floculação), que causa a formação de agregados constituídos de gotas individuais, processo este que também aumenta o creme; c) coalescência das gotas individuais, que formam gotas maiores até estender a fase finamente dispersa a ponto de quebrar a emulsão. Exemplo de coalescência é a coagulação das gotas de gordura pela ação de ácido acético (vinagre) seguida da precipitação de caseína (proteína do leite) (SHAW, 1975).

FIGURA 04 – REPRESENTAÇÃO DOS FENÔMENOS QUE OCORREM EM EMULSÃO



FONTE: FERREIRA FILHO, 2006.

Nesse trabalho a avaliação da estabilidade das emulsões foi feita pela observação das partículas, pois a distribuição do tamanho das gotas com um máximo de gotas de pequenos diâmetros, em aparência, representa uma situação de estabilidade máxima. Por esta razão, as mudanças na curva de distribuição de tamanho de gotas com o tempo, que conduz a uma distribuição mais difusa e com o máximo para diâmetros maiores são uma medida da instabilidade da emulsão (BECHER, 1972).

2.3 VISCOSIDADE E REOLOGIA

A resistência à fluidez das emulsões é provavelmente uma das mais importantes propriedades, tanto do ponto de vista prático como teórico. Considerações práticas aparecem do fato que uma emulsão comercial só pode ser comercializada a uma viscosidade específica (BECHER, 1972).

O primeiro uso da palavra reologia foi feito por Eugene C. Bingham em 1928 que a descreveu através de trabalhos de Heráclitus, grego pré-socrático 500 a.C. que dizia: *tudo flui* (REINER, 1964).

Reologia é hoje estabelecida como a ciência da deformação e escoamento da matéria. É o estudo do comportamento do material (fluido) quando nele é aplicado uma tensão (STEFFE, 1996).

Segundo BIRD et al. (1960) a reologia estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitados por forças externas. O campo da reologia estende-se desde a mecânica de fluidos Newtonianos até a elasticidade de Hooke. Pode ser genericamente definida como o estado de deformação da matéria ou, ainda, o estudo da mobilidade dos fluidos.

Há numerosas áreas onde os dados reológicos são necessários na indústria de alimentos (RAO, 1986; STEFFE, 1996):

- a) Processos de cálculos de engenharia envolvendo equipamentos como: tubulações, bombas, extrusoras, trocadores de calor e homogeneizadores;
- b) Determinar o funcionamento dos ingredientes em desenvolvimento de produtos;
- c) Qualidade do produto;
- d) Avaliar a textura dos produtos em correlação com dados sensoriais;
- e) Analisar equações reológicas de estado ou equações representativas;

Fluidos reais deformam-se irreversivelmente, ou seja, quando tensões são aplicadas sobre esses materiais, eles escoam. A energia de deformação é dissipada dentro dos fluidos em forma de calor e não pode ser recuperada se a tensão aplicada for cessada. Devido ao escoamento, esses materiais são estudados na reologia, pela relação entre a taxa e a tensão de cisalhamento (STEFFE, 1996).

Na Tabela 10 estão descritas as taxas de cisalhamento típicas para diversos tipos de materiais e o seu processamento.

TABELA 10 – TAXAS DE CISALHAMENTO TÍPICAS DE MATERIAIS FAMILIARES E PROCESSAMENTO

SITUAÇÃO	TAXA DE CISALHAMENTO (s ⁻¹)	APLICAÇÃO
Sedimentação de partículas em suspensão em um líquido	10 ⁻⁶ – 10 ⁻³	Medicamentos, tintas, temperos
Nivelamento devido a tensão superficial	10 ⁻² – 10 ⁻¹	Tintas
Drenagem sob gravidade	10 ⁻¹ – 10 ⁰	Barril, container para alimentos pequenos, pintura e revestimento
Extrusão	10 ⁰ – 10 ³	Ração animal, pasta de dente, cereais, macarrão e polímeros
Calandragem	10 ¹ – 10 ²	Massa de pão (cilindragem)
Mastigar e engolir	10 ¹ – 10 ²	Alimentos
Revestimento em profundidade	10 ¹ – 10 ²	Tintas, confeitos
Mistura e agitação	10 ¹ – 10 ³	Processamento de alimentos
Escoamento em tubulação	10 ⁰ – 10 ³	Processamento de alimentos e fluxo sanguíneo
Polimento	10 ² – 10 ⁴	Aplicação tópica de cremes e loções
Escovamento	10 ³ – 10 ⁴	Batom, esmalte
Pulverização	10 ³ – 10 ⁵	Spray drying, pulverização de tinta, atomização de combustível
Revestimento em alta velocidade	10 ⁴ – 10 ⁶	Papel
Lubrificação	10 ³ – 10 ⁷	Motores a gasolina

FONTE: STEFFE, 1996.

Os líquidos em geral são classificados em função do seu comportamento reológico. Este envolve a determinação e análise da relação entre a taxa e a tensão de cisalhamento para uma determinada condição de temperatura e pressão. De uma maneira bem abrangente, os fluidos podem ser classificados reologicamente como Newtonianos e não-Newtonianos (STEFFE, 1996).

2.3.1 Fluidos Newtonianos

No fluido Newtoniano somente ocorrem efeitos de atrito mecânico e o nível energético dessas interações aproxima-se do nível energético para ruptura e formação de pontes de hidrogênio num líquido.

Nestes fluidos o gradiente (γ), da deformação, é diretamente proporcional à força (tensão) aplicada, (σ), sendo a proporcionalidade dada por uma constante intrinsecamente dependente da natureza do fluido, essa constante é o coeficiente de viscosidade (η) que representa o atrito mecânico entre as camadas, equação 01,

que independe da variação de σ e γ , ou seja, as propriedades reológicas de fluidos Newtonianos são independentes da taxa de cisalhamento e do histórico anterior de cisalhamento e dependentes somente da composição e da temperatura (STEFFE, 1996). Num fluido Newtoniano o valor da viscosidade caracteriza o fluido e esse valor não varia com a tensão aplicada.

$$\sigma = \eta \cdot \gamma \quad (01)$$

Onde: σ = tensão de cisalhamento (N/m²); γ = taxa de cisalhamento (s⁻¹); η = viscosidade Newtoniana (Pa.s)

Entre os alimentos que possuem comportamento de fluidos Newtonianos temos: bebidas destiladas, refrigerantes artificiais, leite, óleos, soluções de sacarose e de vários sais (BOBBIO, 1995).

2.3.2 Fluidos não-Newtonianos

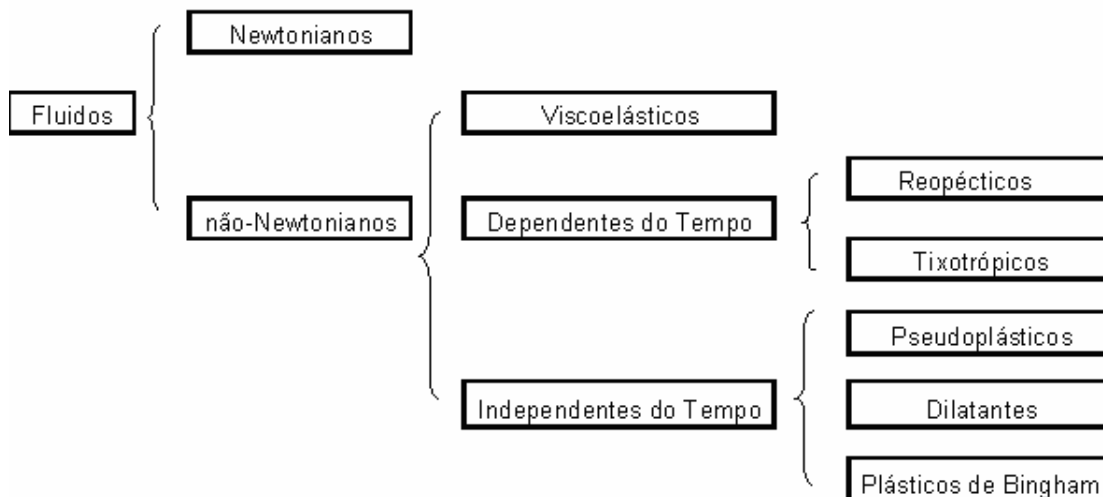
Quando há interação entre os componentes de um fluido e essas interações dependem e afetam a velocidade de deformação causada por forças externas, então o fluido é chamado não-Newtoniano. A essa categoria pertence a grande maioria dos colóides hidrofílicos. O coeficiente de viscosidade η para estes sistemas varia com a tensão aplicada e é chamado de viscosidade aparente η_{ap} , equação 02 (BOBBIO, 1995).

$$\eta_{ap} = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (02)$$

Onde: σ = tensão de cisalhamento (N/m²); γ = taxa de cisalhamento (s⁻¹); η_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)

Um exemplo de classificação simples do comportamento reológico de fluidos é apresentado na Figura 05:

FIGURA 05 – CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS SEGUNDO O COMPORTAMENTO REOLÓGICO



2.3.2.1 Fluidos pseudoplásticos

Neste grupo encontram-se a maioria dos fluidos de comportamento não-Newtoniano (VIDAL, 2000).

Quando a viscosidade aparente diminui com o aumento da tensão de cisalhamento, independentemente do tempo de aplicação da força, temos um tipo de fluido que é chamado pseudoplástico e, ao cessar a causa deformante, o fluido volta a ter o valor de viscosidade inicial (MCCLEMENTS, 2005). Nesses fluidos a taxa de cisalhamento versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA et al., 2000).

Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas, tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação, consequentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971).

Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados, purê de maçã, pasta de amido e proteínas (RHA, 1978). Em geral, os purês de frutas e vegetais são fluidos pseudoplásticos. A consistência desses produtos é um importante parâmetro da qualidade industrial (IBARZ e BARBOSA-CANÓVAS, 1996).

2.3.2.2 Fluidos dilatantes

Nos fluidos dilatantes, a viscosidade aparente aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento. Esse tipo de fluxo somente é encontrado em líquidos que contêm uma alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nessa categoria (SHARMA et al. 2000; STEFFE, 1996).

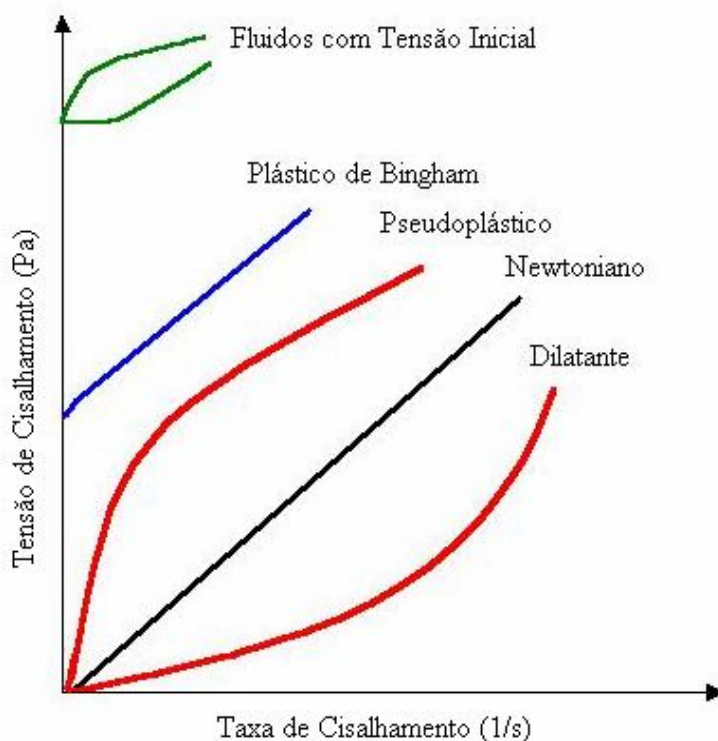
2.3.2.3 Fluidos de Bingham

Segundo MCCLEMENTS (2005), o fluido de Bingham se comporta como um sólido sob condições estáticas. Certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial).

De acordo com BOBBIO (1995), os fluidos plásticos de Bingham exibem um comportamento semi-sólido não auto-deformável, mas deformável pela aplicação de uma força superior à força mínima de escoamento. Purê de batata, mostarda e catchup são alguns exemplos de fluidos de Bingham (BOURNE, 1982).

A Figura 06 apresenta as curvas de escoamento para fluidos independentes do tempo:

FIGURA 06 – CURVAS DE ESCOAMENTO PARA VÁRIOS TIPOS DE FLUIDO INDEPENDENTES DO TEMPO



FONTE: SHARMA et al., 2000.

Há outros dois casos em que os efeitos descritos e produzidos pela aplicação de força externa de deformação perduram parcialmente quando cessa a força aplicada, isto é, o fluido demora um tempo maior daquele em que foi aplicada a força para voltar ao estado inicial. Tais fluidos são denominados tixotrópicos e reopéticos.

Os fluidos tixotrópicos e reopéticos exibem histerese, isto é, a viscosidade dos sistemas sujeitos a uma força por um tempo t não é mesma, quando medida no mesmo tempo t , depois de cessada a ação da força (BOBBIO, 1995).

2.3.2.4 Fluidos tixotrópicos

Fluidos desse grupo apresentam um comportamento reológico dependente do tempo, são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a

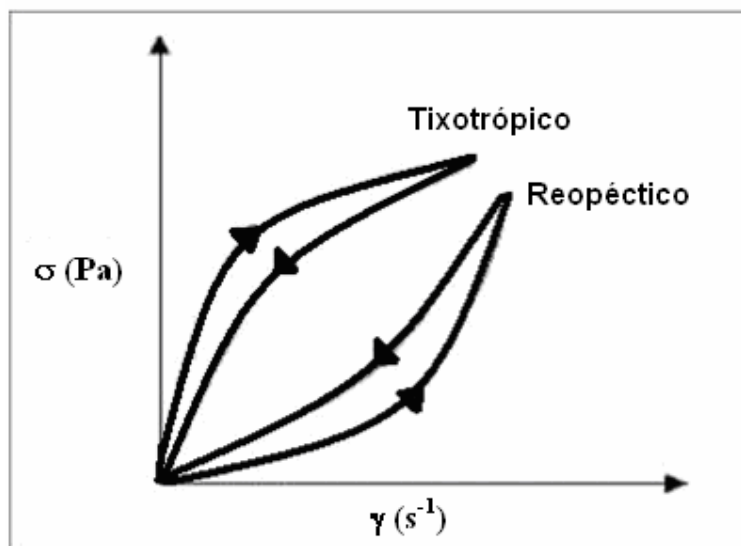
viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2005). Entre os alimentos que apresentam comportamento tixotrópico estão os géis de pectina, géis de alginato, gelatinas, cremes, manteigas molhos para saladas, entre outros. O tixotropismo pode ser atribuído à presença de ligações de hidrogênio presentes entre as micelas coloidais e que, rompidas pela agitação, voltam a se formar no sistema em repouso (SHARMA 2000).

2.3.2.5 Fluidos reopéticos

Em alguns alimentos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Há diferentes razões para este comportamento. A mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e consequentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 2005). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA et al., 2000).

A Figura 07 apresenta as curvas de escoamento para os fluidos dependentes de tempo:

FIGURA 07 - CURVAS DE ESCOAMENTO PARA FLUIDOS DEPENDENTES DO TEMPO



FONTE: SHARMA et al., 2000.

2.3.2.6 Fluidos viscoelásticos

Segundo MCCLEMENTS (2005) muitos produtos não são líquidos puros ou sólidos puros, mais possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente elásticas. Quase todas as soluções, de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico, e muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não configurados para essas medidas. Clara de ovo é o exemplo típico de comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

2.3.3 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH e índice de maturação. É indispensável ao controle de qualidade, controle intermediário em linhas de produção e ao projeto no dimensionamento de equipamentos e processos. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000).

A descrição do comportamento reológico não-Newtoniano é feita através de modelos empíricos, como os modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson que são usados para relacionarem os dados de tensão e taxa de cisalhamento.

2.3.3.1 Modelo de Ostwald-De-Waele (Lei da Potência)

Para os fluidos não-Newtonianos é bastante utilizada a equação de Ostwald-De-Waele (03), pela sua simplicidade e por ser facilmente manuseável na forma logarítmica (04) (VIDAL, 2000).

$$\sigma = K.\gamma^n \quad (03)$$

ou

$$\log \sigma = \log K + n \log \gamma \quad (04)$$

Onde: K = coeficiente de consistência (Pa.s^n); n = índice de comportamento (adimensional); σ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de cisalhamento (s^{-1})

A viscosidade aparente é expressa como:

$$\eta_{ap} = \frac{\sigma}{\gamma} = K \cdot \gamma^{n-1} \quad (05)$$

Os modelos que consideram a tensão inicial são usados para fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial que é própria de cada material (STEFFE, 1996).

2.3.3.2 Modelo de Bingham

O modelo de Bingham está relacionado pela equação 06:

$$\sigma - \sigma_0 = \eta_p \gamma \quad (06)$$

Onde: σ = tensão de cisalhamento (Pa); σ_0 = tensão inicial (Pa); η_p = viscosidade plástica de Bingham (Pa.s); γ = taxa de cisalhamento (s^{-1})

2.3.3.3 Modelo de Casson

O modelo de Casson tem sido usado para alimentos, particularmente para estimar a tensão inicial (K_{oc}).

Este modelo foi desenvolvido para o escoamento de uma suspensão de partículas interagindo em um meio Newtoniano. CASSON, (1959) propôs a seguinte expressão matemática:

$$\sigma^{\frac{1}{2}} = K_{oc} + K_c \cdot \gamma^{\frac{1}{2}} \quad (07)$$

Onde: σ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de cisalhamento (s^{-1}); K_{oc} = tensão inicial (Pa); K_c = viscosidade plástica de Casson (Pa.s)

O modelo de Casson tem sido adotado como método oficial para interpretação dos dados de escoamento pelo Instituto Internacional do Chocolate. Entretanto, MIZRAHI e BERK (1972) mostraram que este modelo não se adapta a baixos valores de taxa de deformação como no caso do suco de laranja concentrado e do concentrado de tomate (RAO e COOLEY, 1982).

2.3.3.4 Modelo de Herschel-Bulkley

A relação geral que descreve o comportamento dos fluidos não-Newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley (STEFFE, 1996):

$$\sigma - \sigma_{OH} = K_H \cdot \dot{\gamma}^{n_H} \quad (08)$$

Onde: σ = tensão de cisalhamento (Pa); σ_{OH} = tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H = coeficiente de consistência ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{n_H}$); $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}); n_H = índice de comportamento do fluido (adimensional)

Esse modelo é uma forma modificada do Lei da Potência (RAO e COOLEY, 1982), ou seja, o que diferencia um do outro é a presença ou ausência do termo da tensão de cisalhamento inicial.

2.3.3.5 Modelo de Mizrahi – Berk

Para descrever o comportamento reológico do suco de laranja concentrado, MIZRAHI e BERK (1972) desenvolveram uma equação reológica baseada no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em comportamento pseudoplástico, equação 09. Esta proposta é uma modificação do modelo de Casson, que se reduz a este quando n_M é igual a 0,5.

$$\sigma^{\frac{1}{2}} - K_{OH} = K_M \cdot \dot{\gamma}^{n_M} \quad (09)$$

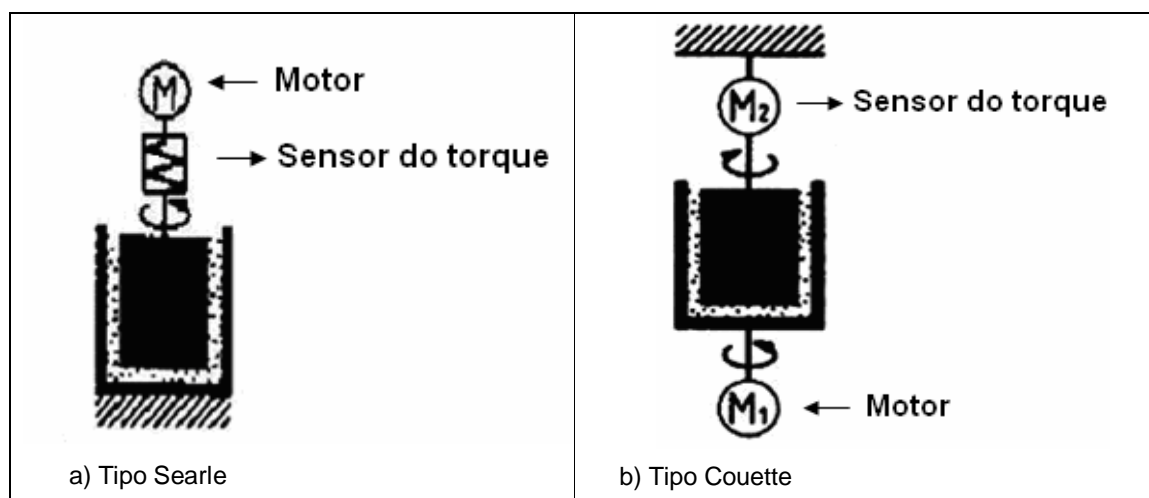
Onde: σ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de cisalhamento (s^{-1}); K_M = coeficiente de consistência ($Pa.s^n$); n_M = índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{OM} = raiz quadrada da tensão inicial.

Para avaliar o comportamento de um fluido são utilizados viscosímetros e reômetros, os quais podem apresentar diferentes configurações, sendo que os mais comuns são os capilares e os sistemas rotacionais (SHARMA, 2000).

2.3.4 Reômetros (Sistema rotacional)

A medida dos parâmetros reológicos baseia-se na determinação da relação entre o torque necessário e a velocidade de rotação de um corpo que se encontra imerso ou em contato com um fluido (SHARMA, 2000). No caso do reômetro Searle, ilustrado na Figura 08(a), determina-se o torque necessário para manter constante a velocidade de rotação e no reômetro Couette, ilustrado na Figura 08(b), aplica-se um torque e mede-se a velocidade correspondente.

FIGURA - 08 ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE REÔMETROS ROTACIONAIS TIPO SEARLE (a) E TIPO COUETTE (b)



FONTE: HAMINIUK, 2005.

O tipo de reômetro rotacional mais comum é do tipo Searle. Este pode apresentar varias configurações dependendo da geometria dos corpos rotacionais.

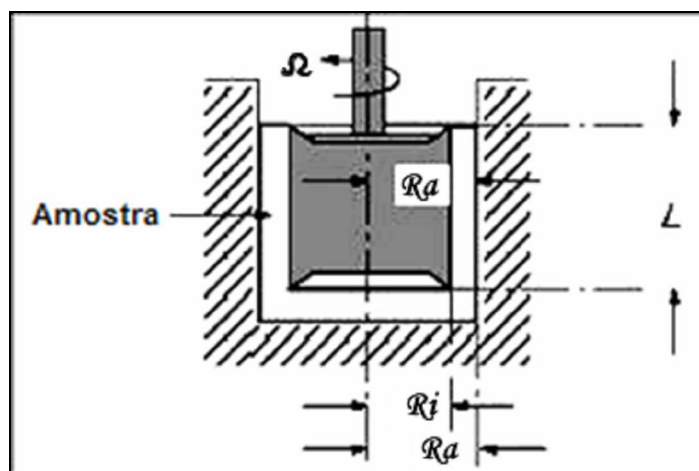
Dessa forma, os reômetros rotacionais podem ser de cilindros concêntricos, cone e placa e placas planas paralelas (SCHARAMM, 2000).

As principais vantagens na utilização dos Reômetros Rotacionais, é que esses equipamentos permitem o uso de pequenas amostras de produtos e fornecem uma medida contínua da relação taxa e a tensão de cisalhamento, permitindo também a análise mais adequada de comportamentos dependentes do tempo (VIDAL, 2000).

2.3.4.1 Reômetro rotacional de cilindro concêntrico

Estes reômetros mantêm uma velocidade de rotação constante a certa taxa e os dados de tensão de cisalhamento são obtidos através da medida do torque no cilindro de medida (fixo ou rotativo). São projetados para causar cisalhamento no fluido localizado entre dois cilindros concêntricos sendo que um gira e outro permanece estacionado permitindo-se obter curvas reológicas (SCHARAMM, 2000). É um instrumento que opera em uma faixa de taxa de cisalhamento moderada, fazendo deste uma boa escolha para coleta de dados utilizados em muitos cálculos de engenharia (STEFFE, 1996). Um esquema do reômetro de cilindro concêntrico está apresentado na Figura 09.

FIGURA – 09 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO REÔMETRO DE CILINDRO CONCÊNTRICO (TIPO SEARLE)



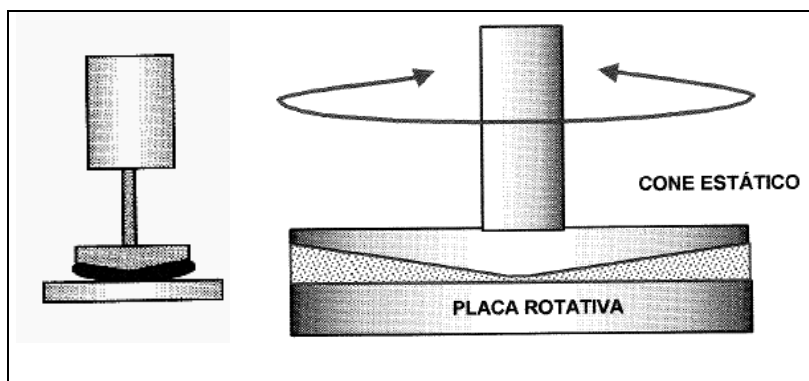
FONTE: HAMINIUK, 2005.

Onde: Ω = velocidade do rotor; R_a = raio do rotor; R_i = Raio do cilindro de medida; L = altura do rotor

2.3.4.2 Reômetro rotacional de cone e placa

Estes equipamentos são constituídos de uma placa plana horizontal (regime estacionário) e um cone invertido (com a ponta cortada), cujo vértice encontra-se muito próximo da placa (Figura 10). No entanto, no cálculo dos parâmetros reológicos, considera-se o cone com a ponta inteira. Segundo SCHARAMM (2000), os ângulos dos cones em um sistema cone-placa comercial são normalmente muito pequenos (1°), sendo este tipo de sistema recomendado para materiais sem partículas e com alta viscosidade.

FIGURA 10 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO REÔMETRO CONE E PLACA

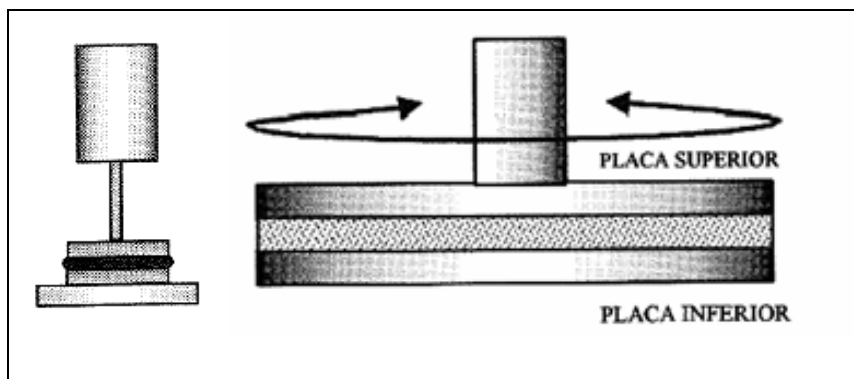


FONTE: GOZZO, 2003.

2.3.4.3 Reômetro rotacional de placas paralelas

Contém duas placas paralelas em forma de disco. A distância das placas pode ser variada, obtendo-se diferentes faixas de deformação (VIDAL, 2000). Indicado para materiais não homogêneos, com partículas grandes. A altura entre as placas deve ser três vezes maior que o tamanho da maior partícula da amostra (SCHARAMM, 2000). Na Figura 11 está a representação de um reômetro de placas paralelas.

FIGURA 11 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO REÔMETRO PLACA –PLACA



FONTE: GOZZO, 2003.

2.3.5 Comportamento reológico de derivados de frutas

Para a manipulação de sucos e purês de frutas na indústria é necessário conhecer suas propriedades reológicas, especialmente quando se trata de submetê-los às operações como: transporte, homogeneização, esterilização e concentração. As características reológicas e a explicação das mudanças que se produzem no fluxo durante determinadas operações do processo, requerem o conhecimento da relação entre as características físicas e estruturais no comportamento reológico (VIDAL, 2000).

Purês de frutas e vegetais particularmente, onde quantidades substanciais do material particulado insolúvel estão presentes, são altamente não-Newtonianos (NAGY et al., 1993). GUERRERO e ALZAMORA (1997 e 1998) encontram características de pseudoplasticidade com tensão inicial em purê de banana, pêra, mamão e manga.

Purês de banana, goiaba, manga, e *papaya* são fluidos não-Newtonianos, pseudoplásticos e obedecem à equação reológica da Lei da Potência (RAO et al, 1974).

IZIDORO et al. (2006a) estudaram o comportamento reológico do gel de farinha de banana verde nas temperaturas de 10 a 60°C e foi apropriadamente descrito pelo modelo de Herschel-Bulkley, apresentando comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas.

Suco e purês de frutas são considerados sob o ponto de vista reológico como fluidos pseudoplásticos e o afastamento do comportamento Newtoniano é determinado pelo conteúdo de polpa do produto (TRIFIRO et al. 1987). Conforme VIDAL, (2000) e HAMINIUK et al. (2005 e 2006a) polpas de manga, araçá e butiá apresentam comportamento não-Newtoniano pseudoplástico, assim como misturas ternárias de frutas vermelhas (HAMINIUK et al. 2006b) e de polpa de manga, laranja e cenoura (BRANCO e GASPARETTO, 2003 e 2005).

Conforme TRIFIRO et al. (1987) qualquer ação enzimática ou mecânica que modifique a estrutura da polpa terá repercussão no seu comportamento reológico.

A Tabela 11 mostra alguns valores para coeficiente de consistência (K) e índice de comportamento (n) para purês de frutas.

TABELA – 11 ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) PARA PURÊS E POLPAS DE FRUTAS CONFORME SÓLIDOS SOLÚVEIS, TEMPERATURA E MODELO.

PURÊS DE FRUTAS	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	T (°C)	K (Pa.S ⁿ)	n	MODELO	REFERÊNCIA
Abóbora	7,2	60	1,95	0,58	HB	DUTTA et al., 2005
Abóbora	7,2	60	9,31	0,19	LP	DUTTA et al., 2005
Banana enlatada	17,7	22	10,7	0,28	LP	DERVISOGLU e KOKINI (1986)
Banana enlatada marca A e B	-	24	6,5 e 10,7	0,33 e 0,46	LP	CHARM (1960 e 1962)
Banana (papinha para nenê), marcas A e B	15	25	5,4 e 6,9	0,59 e 0,62	HB	BARBOSA- CANOVAS e PELEG (1983)
Banana pH 3, a _w 0,97 e tratada termicamente	5	5	15,8	0,51	HB	GUERRERO (1993)
Banana pH 3, a _w 0,97 e tratada termicamente	25	25	1,9	0,52	HB	GUERRERO (1993)
Banana	50,9	55	9,2	0,64	HB	GUERRERO e ALZAMORA (1997)
Banana	21,4	10	0,3	0,41	HB	GUERRERO e ALZAMORA (1997)
Goiaba	10,3	23,4	3,9	0,49	LP	RAO et al. (1974)
Manga	9,3	24,2	2,1	0,33	LP	RAO et al. (1974)
Mamão	7,3	26	0,9	0,53	LP	RAO et al. (1974)
Polpa de amora preta	5,37	10	1,65	0,41	HB	HAMINIUK, 2005
Polpa de amora preta	5,37	60	0,09	0,77	HB	HAMINIUK, 2005
Polpa de araçá	11,40	10	29,41	0,21	LP	HAMINIUK, 2005

HB – Herschel-Bulkley e LP – Lei da Potência

2.3.6 Comportamento reológico de maionese

Maionese é uma emulsão óleo em água, onde as gotas de óleo são estabilizadas por lipoproteínas (lecitina) provenientes da gema de ovo. Os profissionais que trabalham na área de desenvolvimento de produtos geralmente têm problemas relacionados às propriedades físicas dos novos produtos e seu comportamento quando submetido a diferentes condições. Situação similar tem sido observada em margarinas onde o comportamento reológico é influenciado pela necessidade do produto ser facilmente deformável ao ser submetido a baixas temperaturas (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

As características reológicas de maionese têm sido estudadas utilizando diferentes técnicas: tensão versus taxa de cisalhamento, tensão e taxa dependentes do tempo, comportamento viscoelástico dinâmico e comportamento viscoelástico de varredura (RAO, 1999).

As propriedades de escoamento da maionese foram estudadas por PAREDES et al. (1989), YILMAZER e KOKINI (1992), MA e BARBOSA-CANOVAS (1994), STEFFE et al., 1986, PERESSINI et al. (1998) WORRASINCHAI et al., 2005 e GUILMINEAU e KULOZIK (2005) e na Tabela 12 estão descritos alguns valores para índice de comportamento e coeficiente de consistência obtidos por diferentes modelos de acordo com alguns autores.

TABELA – 12 ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) PARA MAIONESES COM DIFERENTES FORMULAÇÕES.

Produto	Teor de óleo (%)	T (°C)	τ_{OH} (Pa)	K (Pa.S ⁿ)		n		MODELO	REFERÊNCIA					
Maionese tradicional	Cerca de 75	25	-	6,4		0,55		-	STEFFE et al., 1986.					
Maionese A	75	20	23	18,1		0,83		HB	MA e MARBOSA-CANOVAS, 1994					
	80		115		127,4		0,69							
	85		235		289,9		0,24							
Maionese B	Teor de goma xantana (%)													
	0,5	20	55	8,5		0,44		HB	MA e MARBOSA-CANOVAS, 1994					
	1,0		195		11,8		0,43							
	1,5		305		43,8		0,78							
Maionese C	Teor de β -glucana (%)													
	0	25	-	Ida: 81,38	Volta: 34,41	Ida: 0,23	Volta: 0,38	LP	WORRASINCHAI et al., 2005					
	25				26,05		15,38			0,33		0,42		
	50				76,67		20,60			0,16		0,39		
	75				-		10,99			-		0,44		

HB – Herschel-Bulkley e LP – Lei da Potência

2.4 DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS

Delineamentos de experimentos são instrumentos usados para aperfeiçoar produtos e processos, acelerar o ciclo de desenvolvimento, melhorar a transferência dos produtos da pesquisa e desenvolvimento para manufatura e, efetivamente, solucionar problemas de fabricação (GRAF e SAGUY, 1991).

2.4.1 Delineamento para Misturas

O desenvolvimento de qualquer produto alimentar envolvendo mais de um ingrediente requer algumas formas particulares de experimentos para misturas em detrimento aos fatoriais (THOMPSON, 1981). Delineamentos para misturas são empregados em vários experimentos para o desenvolvimento de produtos. Nestes ensaios, dois ou mais ingredientes ou componentes são misturados em várias proporções e as características dos produtos resultantes são registradas. As respostas dependem, somente, das proporções dos componentes presentes na

mistura e não da quantidade absoluta. Contudo, se há outros fatores, tais como variáveis de processo ou a quantidade da mistura, que podem ter um efeito na resposta ou propriedade da mistura dos componentes, tais fatores podem ser incluídos nos experimentos (PIEPEL e CORNELL, 1994).

O planejamento para misturas consiste em ajustar um modelo matemático polinomial a uma superfície de resposta obtida segundo um planejamento experimental específico, conhecido como planejamento estatístico de misturas. Essa denominação é utilizada para diferenciá-lo do planejamento fatorial empregado no modelamento de variáveis de processo. O planejamento estatístico de misturas empregado irá depender da complexidade do modelo matemático que se deseja ajustar e do número de componentes da mistura (CORNELL, 2002).

Em experimentos com misturas não é possível variar um ingrediente ou componente enquanto se mantém todos os demais constantes. Assim que a proporção de um componente é alterada, isto ocorre também com outro componente, uma vez que a soma de todos os componentes é sempre a unidade ou 100%. Por esse motivo, delineamentos experimentais convencionais não podem ser aplicados (MONTGOMERY e VOTH, 1994).

Uma dificuldade encontrada em muitos experimentos para misturas é que alguns dos componentes estão sujeitos a limite superior e/ou inferior. Tais limites podem produzir regiões do delineamento com formas diferenciadas para qual é impossível utilizar alguns delineamentos (BRAGA NETO, 1998), como é o caso no presente trabalho em que para a preparação da emulsão, os principais ingredientes como a polpa de banana verde, o óleo e a água devem ser limitados, caso contrário, não há formação da emulsão ou mesmo não há estabilidade resultando em separação das fases.

Quando se deseja explorar somente uma região limitada do delineamento, uma abordagem alternativa é substituir os componentes linearmente dependentes da mistura por uma adequada transformação, resultando no que se costuma chamar de pseudocomponentes (STEINBERG e HUNTER, 1984; CORNELL, 1984), ou seja, uma vez introduzidas limitações inferiores nos componentes de uma determinada mistura, passa a ser conveniente redefinir as coordenadas da sub-região formada. Os pseudocomponentes, como o próprio nome diz, são falsos componentes definidos como combinações dos componentes originais. A principal razão para a

introdução deles é que o planejamento e o ajuste dos modelos são bem mais fáceis num sistema de pseudocomponentes do que num sistema de componentes originais (CORNELL, 2002).

Segundo PIEPEL e CORNELL (1994), um planejamento típico para experimento com mistura envolve etapas como:

- definição dos objetivos do experimento;
- seleção dos componentes na mistura e algum outro fator para ser estudado;
- identificação de alguma limitação no componente da mistura especificando a região experimental;
- especificação da resposta a ser medida;
- proposta de uma forma de modelo apropriado para modelar os valores das repostas em função dos componentes na mistura e outros fatores selecionados para o estudo;
- seleção de um planejamento experimental que seja suficiente, não somente para ajustar o modelo proposto, mas também permitir um teste de adequação do modelo;

Vários são os delineamentos para misturas, usados para desenvolver um modelo empírico objetivando formulações ótimas (CORNELL, 2002). Os normalmente empregados são quando o intervalo experimental de cada variável abrange a área total do simplex. O delineamento de vértices extremos, também, é usado nas formulações de alimentos, se houver proporções mínimas (ou máximas) de alguns (ou todos) componentes na mistura (YOON et al., 1997).

2.4.2 Delineamentos de Superfície de Resposta

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é um conjunto de técnicas de modelagem e otimização muito utilizadas em ciência de alimentos em que várias respostas são medidas para cada conjunto de condições experimentais e um modelo é ajustado para cada resposta (ARTEAGA et al., 1994). Pode ser definida como um método estatístico que emprega dados quantitativos obtidos em delineamentos experimentais apropriados para determinar e, simultaneamente, resolver equações multivariadas. Essas equações podem ser representadas graficamente como uma

superfície de resposta que pode ser usada de três maneiras: (1) para descrever o quanto as variáveis afetam a resposta; (2) para determinar as interações entre as variáveis do teste; (3) para descrever o efeito combinado de todas as variáveis na resposta, tornando-se, portanto um método de otimização (GIOVANNI, 1983).

Há três termos utilizados em MSR, que devem ser bem definidos: (1) fatores: são as características de um produto ou processo que podem ser variadas com o sistema; (2) níveis do fator: são as faixas de variação dos fatores e (3) resposta: é o efeito dos diferentes níveis dos fatores sobre o produto ou processo em estudo (GIOVANNI, 1983).

Basicamente a MSR é um processo de quatro etapas. Primeiro, são identificados dois ou três fatores críticos mais importantes para o produto ou processo em estudo. Segundo, é definida a variação dos níveis de cada fator que determinarão as amostras a serem testadas. Terceiro, são determinadas as amostras específicas através do delineamento experimental e, então, testadas. Quatro, são analisados os dados destes experimentos pela MSR e, logo, interpretados (GIOVANNI, 1983).

De acordo com BOX e DRAPER (1987) os delineamentos para superfície de resposta devem: (1) gerar informações úteis na região de interesse, (2) permitir investigação da falta de ajuste, (3) fornecer uma estimativa de erro, (4) possibilitar a verificação dos desvios a partir de modelos mal especificados, (5) garantir que os coeficientes do modelo ajustado estejam próximos aos valores verdadeiros, (6) permitir a interrupção e experimentação seqüencial, se necessário e (7) permitir a construção de modelagem seqüência, se necessário.

2.5 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial é uma ciência interdisciplinar na qual se convidam avaliadores, que se utilizam da complexa interação dos órgãos dos sentidos (visão, gosto, tato e audição) para medir as características sensoriais e a aceitabilidade dos produtos alimentícios e muitos outros materiais (ABNT, 1993, FERREIRA, 2000).

Nos últimos anos, a análise sensorial dos alimentos deixou de ser uma atividade secundária e empírica e enquadrou-se na categoria de disciplina científica, capaz de gerar informações precisas e reproduzíveis, sobre as quais recaem

importantes decisões, relativas à seleção de matéria-prima, modificação, padronização de métodos e otimização de formulações para desenvolvimento de produtos, tornando-se ferramenta básica para aplicação na indústria de alimentos. (MEHINAGIC et al., 2003).

A palavra *sensus* provém do latim e significa “sentido”. A análise sensorial é uma técnica de medição tão importante quanto os métodos físicos, químicos e microbiológicos. Sendo fundamental na estatística, filosofia, psicologia e outros ramos da ciência, têm rigor científico associado à experimentação. Desempenha papel importante em todos os aspectos da ciência e tecnologia de alimentos (WASZCZYNSKYJ, 1997) e é também usada na determinação de qualidade (NATALE et al., 1998). Os métodos sensoriais são baseados nas respostas aos estímulos, que produzem sensações cujas dimensões são: intensidade, extensão, duração, qualidade e prazer ou desprazer. Enquanto os estímulos podem ser medidos por métodos físicos e químicos, as sensações são medidas por processos psicológicos (LANZILLOTTI e LANZILLOTTI, 1999).

Segundo MEILGAARD, CIVILLE e CARR (1991), a tendência do homem é apreciar os atributos de um alimento na seguinte ordem: aparência, odor/aroma/fragrância, consistência, textura e sabor.

A aparência é freqüentemente o único atributo em que se baseia a decisão de rejeitar ou não um alimento. Características gerais como a cor, envolvem os componentes físicos e fisiológicos com relação à percepção do olho com o comprimento de onda da luz. A deterioração de alimentos é geralmente acompanhada de mudança na cor, tamanho e forma que podem ser também indicadores de defeitos assim como textura da superfície e claridade (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991). Assim por meio da visão têm-se as primeiras impressões do produto quanto a sua aparência global, envolvendo características de cor, tamanho, formato, brilho, impurezas e granulometria (FERREIRA, 2000).

Odor/ aroma de um produto é detectado quando compostos voláteis são percebidos na cavidade nasal e pelo sistema olfativo externo. Aroma é o odor de um produto alimentício. A quantidade de voláteis exalados de um produto é afetada pela temperatura e pela natureza desses compostos, pela condição da superfície, como por exemplo: maior quantidade de voláteis escapa de uma superfície porosa e úmida do que de uma dura e seca (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991).

Sabor em alimentos e bebidas tem sido definido como a impressão percebida através de sensações químicas de um produto na boca. Sabor inclui: os aromas, os gostos e as sensações químicas (MEILGAARD, CIVILLE e CAR, 1991).

Textura pode ser denominada como viscosidade específica para líquidos homogêneos Newtonianos; consistência para líquidos e semi-sólidos não-Newtonianos heterogêneos; e textura para sólidos e semi-sólidos (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991). Segundo a norma da ABNT (1993), foi definida como todas as propriedades reológicas e estruturais de um alimento perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis, e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos. Textura também pode ser definida como sendo a estrutura do alimento e como é sentido na cavidade bucal, na manipulação e durante a mastigação (FILLION e KILCAST, 2002).

Textura é um atributo sensorial medido por indivíduos ou por instrumentos específicos para expressar propriedades físicas (BOURNE, 2002). Os julgadores devem ser treinados para perceber e avaliar alimentos e bebidas de acordo com as escalas específicas, visto que a textura não está relacionada com gostar ou não do alimento, somente está relacionada com a aceitação ou rejeição do mesmo (MOSKOWITZ, 2002).

Os julgadores que participam de testes discriminativos simples devem apresentar habilidade suficiente para perceber e distinguir diferenças entre as amostras, sendo necessário um aprendizado técnico-prático e treinamento com a metodologia a ser empregada com o próprio produto (PERALTA et al., 1999).

A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) é um método de avaliação sensorial que identifica, descreve e quantifica os atributos sensoriais de um produto (GILLETE, 1984; DUTCOSKI, 1996), isto é, descreve as propriedades sensoriais e mede a intensidade em que elas foram percebidas pelos provadores. Esta metodologia permite a descrição das características sensoriais com precisão em termos matemáticos (MOSKOWITZ, 1988).

As características básicas da ADQ, segundo STONE (1993) são: (a) avaliação de todas as características sensoriais dos produtos relacionada à aparência, ao aroma, a textura e ao sabor; (b) oferece procedimentos para avaliar o desempenho individual de cada julgador e da equipe; (c) utiliza de seis a dez provadores por teste; (d) não utiliza exclusivamente *expert*; (e) é aplicada a todo e

qualquer produto industrial; (f) desenvolve linguagem descritiva de fácil compressão e livre de influência do líder sensorial; (g) tem um procedimento de checagem da linguagem; (h) desenvolve um sistema de apresentar dados, utilizando diagrama para os produtos conhecidos como o gráfico aranha (*spider web*);

A determinação da aceitação pelo consumidor é parte crucial no processo de desenvolvimento ou melhoramento de produtos. Para uma triagem inicial ou uma avaliação preliminar da aceitação, a análise é normalmente realizada em condições laboratoriais, com 30-50 julgadores não-treinados. Entre os métodos mais empregados para medida da aceitação de produtos está a Escala Hedônica. Nesta escala o provador expressa sua aceitação pelo produto, seguindo uma escala previamente estabelecida que varia gradativamente com base nos atributos "gosta e desgosta" (DUTCOSKI, 1996; CARNEIRO et al., 2005).

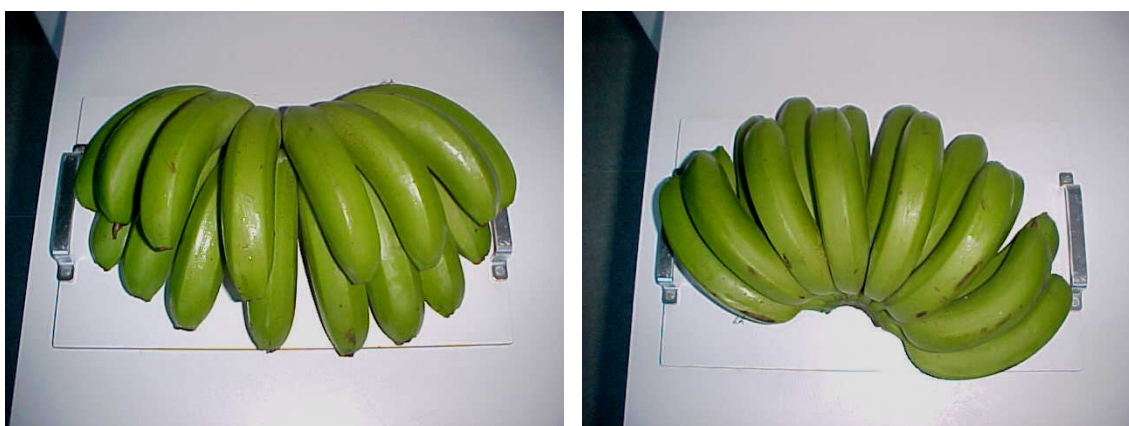
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PADRONIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foi banana verde da variedade *Caturra* (Nanica), por ser de preço mais acessível no mercado. Foi obtida do CEASA, na região de Curitiba, antes de entrar para a câmara de maturação (Figura 12). Foi determinado: umidade, teor de sólidos solúveis (°Brix) e acidez total titulável, em percentagem de ácido málico, para se padronizar a maturação das frutas coletadas para este trabalho, pois toda matéria-prima utilizada teve que atender as mesmas faixas de umidade, sólidos solúveis e razão Brix/acidez.

A umidade das amostras foi feita por gravimetria utilizando estufa convencional a 105°C por 24 horas (IAL nº 451, 1985), a determinação de sólidos solúveis foi realizada por leitura em refratômetro de bancada (Polskie Zakłady Optyczne S.A.), modelo RL3, escala 0°Brix a 90°Brix (IAL nº 13.6.1, 1985). A acidez foi quantificada por titulação com NaOH padronizado e o resultado foi expresso em mL de solução normal (mL/100g), multiplicando-se o valor obtido pelo fator do ácido málico (0,67) conforme método nº 13.6.2 do IAL, (1985).

FIGURA 12 – BANANAS VERDES (MATÉRIA-PRIMA) UTILIZADA PARA O PREPARO DA POLPA.



3.2 OBTENÇÃO DA POLPA

Para obtenção da polpa, foram seguidas as seguintes etapas (Figura 13): as bananas foram lavadas com água e detergente neutro, cozidas sob pressão pelo tempo de 10 minutos, descascadas e homogeneizadas em processador de alimentos doméstico, por 5 minutos, conforme BORGES (2003). A polpa foi preparada na proporção 1:1 de banana cozida e água para melhor homogeneização. A Figura 14 ilustra as etapas realizadas no preparo da polpa.

FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DE PREPARO DA POLPA DE BANANA VERDE

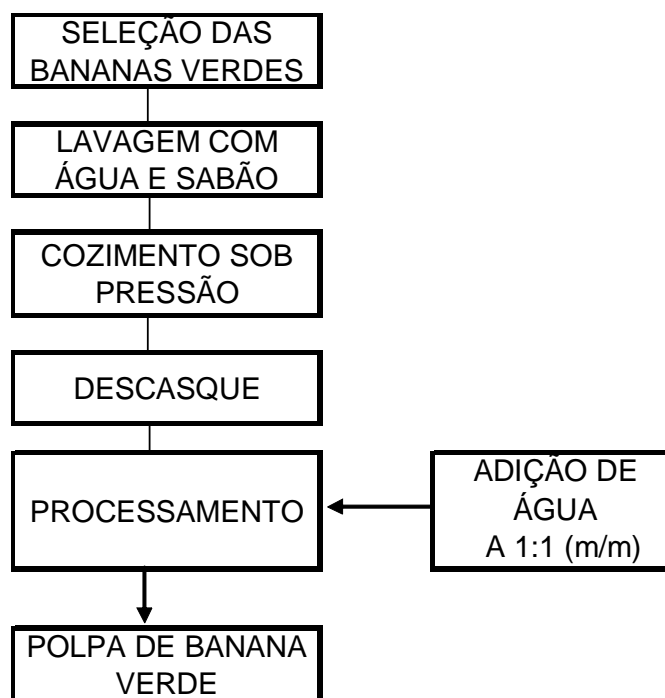


FIGURA 14 – ETAPAS DO PREPARO DA POLPA DE BANANA VERDE



Parte da polpa foi separada para análise físico-química (Item 3.5) e cor (Item 3.9), a outra parte foi utilizada no preparo da emulsão.

3.3 PREPARO DAS EMULSÕES

Para obtenção das emulsões adaptou-se formulação de VALLE e CAMARGOS (2003), utilizando os ingredientes: água, óleo de soja, polpa de banana verde (PBV), mostarda em pó, vinagre e sal (Figura 15). A polpa de banana verde, água e óleo de soja tiveram as proporções variadas e estão descritas no Item 3.4. As proporções de vinagre, sal e mostarda em pó foram as mesmas para todas as formulações e estão apresentadas na Tabela 13:

TABELA 13 – PROPORÇÕES DE MOSTARDA, VINAGRE E SAL

INGREDIENTE	PROPORÇÃO (%m/m)
Vinagre	3
Sal	1,5
Mostarda em pó	0,5

O vinagre (4% de ácido acético) apresenta influência na emulsificação pela adição de cargas elétricas provenientes do íon H^+ às gotas provocando repulsão entre as mesmas evitando a coalescência, contribui também para o sabor e conservação do produto. A mostarda foi adicionada em pó, pois a adição de compostos finamente divididos em emulsão contribui para a estabilidade, além disso, ajuda para melhorar o aroma, a cor e o sabor do produto. O sal contribui para sabor e conservação.

Optou-se em não adicionar outros ingredientes para não mascarar o sabor do produto.

FIGURA 15 – INGREDIENTES UTILIZADOS NO PREPARO DA EMULSÃO



Utilizou-se liquidificador, a velocidade de rotação constante (21.000 rpm), para o preparo das emulsões. Numa primeira etapa processou-se o óleo e a mostarda em pó por 1 minuto, para mostarda conferir coloração amarelada ao óleo, já que se dissolve melhor em óleo que em água como mostra a Figura 16 (a), como segunda etapa adicionou-se a água, o vinagre, o sal e por último a polpa (Figura 16b). Os ingredientes foram processados por 3 minutos, armazenados em

recipientes plásticos (Figura 17) e conservados em geladeira a aproximadamente 10°C. O fluxograma do preparo das emulsões encontra-se na Figura 18.

FIGURA 16 – PREPARO DAS EMULSÕES

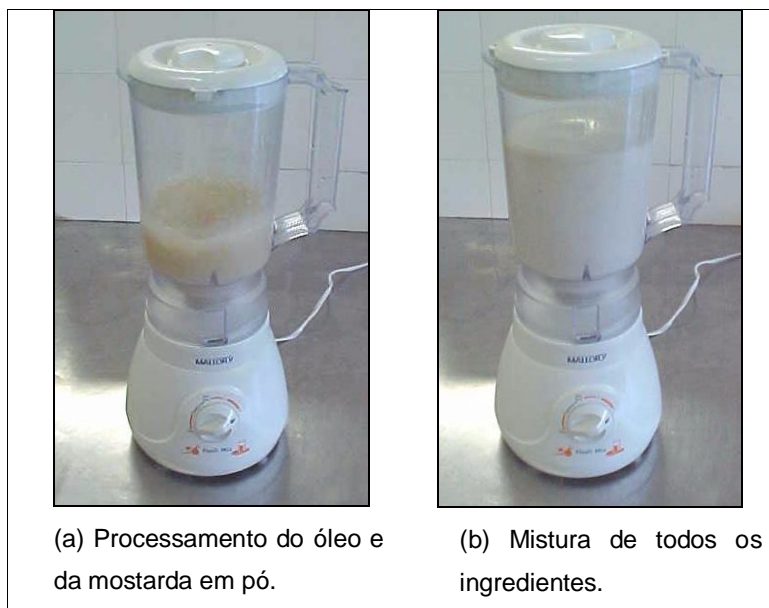
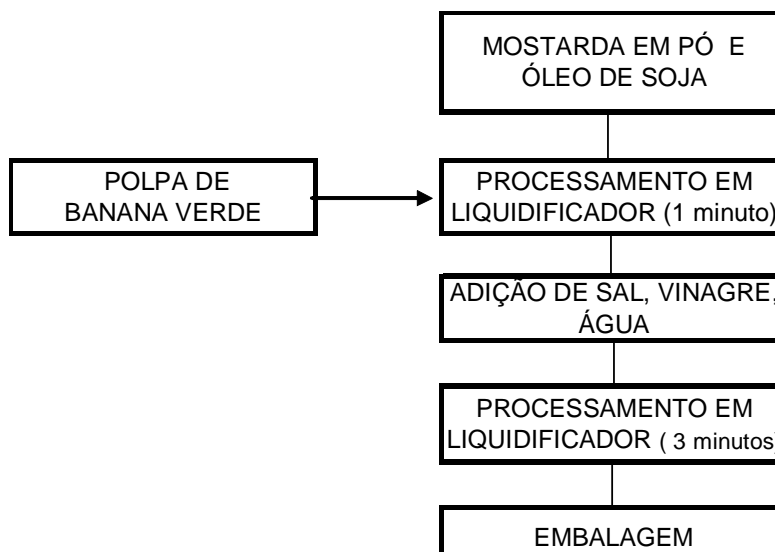


FIGURA 17 – CINCO FORMULAÇÕES DA ESQUERDA PARA A DIREITA



FIGURA 18 – FLUXOGRAMA DO PREPARO DAS EMULSÕES



3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado o delineamento para superfícies limitadas e misturas, módulo do STATISTICA 7.1 (Stat-Soft, Tulsa, OK, USA) aplicando 3 variáveis: água, polpa de banana verde (PBV) e óleo de soja, já que suas proporções na mistura apresentam repercussões na formação da emulsão. Os outros ingredientes (vinagre, mostarda em pó e sal) mantiveram-se com valor fixo na formulação.

Para a formação da emulsão é indispensável a presença dos líquidos e do agente estabilizante, no caso, a água, o óleo e a polpa de banana verde, portanto nenhum dos ingredientes pode variar de zero a 100%, sendo necessários limites inferiores e superiores para esses ingredientes.

Assim, foram feitos testes preliminares baseados em receitas de maionese conforme VALLE e CAMARGOS (2003) para estabelecer limites inferiores e superiores para as três variáveis e definiram-se os limites para água, óleo e polpa de banana verde (PBV) (Tabela 14), baseando-se na formação da emulsão sem separação de fases.

O delineamento para superfícies limitadas e misturas foi aplicado porque os fatores das misturas (X_i) sofrem limitações de proporção (a_i e b_i):

$$0 \leq a_i \leq X_i \leq b_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, q \quad ; \quad \sum X_i = 1$$

Onde: a_i é o limite inferior e b_i é o limite superior, e esse algoritmo gera os pontos correspondentes aos vértices, os centróides das margens e das faces, além do ponto centróide da região experimental.

Quando essas limitações experimentais ocorrem, é necessário ajustar o planejamento de misturas para as condições em que se podem, efetivamente, realizar as medidas e garantindo-se que a mesma distribuição dos experimentos seja obedecida. Isso é feito utilizando-se os pseudocomponentes, que são combinações dos componentes originais, utilizadas para redefinir as coordenadas das misturas em relação ao espaço experimental a ser efetivamente estudado. Neste caso, o planejamento experimental é aplicado apenas à área delimitada por eles, dentro da qual o modelamento será válido (CORNELL, 2002).

Os pseudocomponentes de cada ponto experimental (Tabelas 14 e 15) foram obtidos pela seguinte relação (equação 10), conforme BRAGA NETO (1998):

$$X'_i = (X_i - a_i) / (1 - \sum a_i) \quad (10)$$

Onde: X'_i = Proporção em pseudocomponentes; X_i = proporção original a ser convertida; a_i = proporção original mínima.

Para o caso em estudo, as proporções originais mínimas (a_i) são: 0,10 para água, 0,20 para o óleo e 0,55 para a PBV, o que resulta num total de 0,85, então:

$$(1 - \sum a_i) = (1 - 0,85) = 0,15$$

Então:

$$X'_i = (X_i - a_i) / 0,15$$

Desta forma as transformações resultantes para cada ingrediente foram:

$$\text{Para água:} \quad X'_1 = (X_1 - 0,10) / 0,15 \quad (11)$$

$$\text{Para óleo de soja:} \quad X'_2 = (X_2 - 0,20) / 0,15 \quad (12)$$

Para PBV:
$$X'_3 = (X_3 - 0,55) / 0,15 \quad (13)$$

Aplicando nas equações 11, 12 e 13 às proporções originais dos ingredientes mínimos e máximos, X_i , (Tabela 14), identificam-se os valores em pseudocomponentes conforme Tabelas 14 e 15.

Os limites superiores e inferiores dos ingredientes em componentes originais e pseudocomponentes estão apresentados na Tabela 14:

TABELA 14 – PROPORÇÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS PARA ÁGUA, ÓLEO DE SOJA E POLPA DE BANANA VERDE (PBV)

INGREDIENTES	VALORES ORIGINAIS (X_i)		PSEUDOCOMPONENTES (X'_i)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Água (X_1)	0,100	0,200	0,000	0,666
Óleo de soja (X_2)	0,200	0,250	0,000	0,333
Polpa de banana verde (PBV) (X_3)	0,550	0,700	0,000	1

Respeitando-se os valores da Tabela 14, elaborou-se o delineamento experimental, conforme apresentado na Tabela 15.

TABELA 15 – DELINEAMENTO PARA SUPERFÍCIES LIMITADAS E MISTURAS COM 7 TRATAMENTOS, SENDO 2 PONTOS CENTRAIS, PARA AS MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA, ÁGUA E PBV

FORMULAÇÕES	COMPONENTES ORIGINAIS			PSEUDOCOMPONENTES		
	X1	X2	X3	X'1	X'2	X'3
Vertex (V)						
Centroid (C)						
1V (F1)	0,10	0,20	0,70	0,0000	0,0000	1,0000
2V (F2)	0,20	0,20	0,60	0,6660	0,0000	0,3340
3V (F3)	0,10	0,25	0,65	0,0000	0,3330	0,6670
4V (F4)	0,20	0,25	0,55	0,6660	0,3330	0,0100
5V(C) (F5)	0,15	0,225	0,625	0,3330	0,1665	0,5005
5V(C) (F5 ₁)	0,15	0,225	0,625	0,3330	0,1665	0,5005
5V(C) (F5 ₂)	0,15	0,225	0,625	0,3330	0,1665	0,5005

Onde X1 + X2 + X3 = 1 ou 100%; X1 = água. X2 = óleo de soja e X3 = polpa de banana verde (PBV)

As funções respostas de interesse foram os parâmetros reológicos, conforme HAMINIUK et al. (2006b): tensão inicial (σ_{OH}), coeficiente de consistência (K), índice de comportamento (n) e viscosidade aparente (η_{ap}) nas temperaturas de 10 e 25°C, obtidos pelo modelo que melhor representou o comportamento das emulsões.

Na representação do ajuste dos valores de resposta, que foram os parâmetros reológicos, utilizou-se a equação quadrática (equação 14) em termos de pseudocomponentes, por ter sido significativa para a representação dos parâmetros reológicos. A significância estatística das equações foi feita através da análise da variância, ANOVA, ao nível de 5% de confiança e o erro padrão do modelo de regressão encontra-se na equação 15. O software utilizado foi o STATISTICA 7.1 (Stat-Soft, Tulsa, OK, USA).

$$\hat{Y} = b'_1X'_1 + b'_2X'_2 + b'_3X'_3 + b'_1b'_2X'_1X'_2 + b'_1b'_3X'_1X'_3 + b'_2b'_3X'_2X'_3 \quad (14)$$

Onde:

\hat{Y} = estimativa da resposta de tensão inicial (σ_{OH}), coeficiente de consistência (K), índice de comportamento (n) e viscosidade aparente (η_{ap}) nas temperaturas de

10 e 25°C. b'_i = coeficientes da equação (determinados conforme CORNELL, 2002) e X'_i = proporção dos pseudocomponentes.

$$\text{Erro padrão} = \sqrt{\frac{SQE}{n}} \quad (15)$$

Onde: n = número de observações; SQE = soma dos quadrados do erro e $SQE = \sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2$.

Em que: Y_{obs} = valor experimental; Y_{pred} = Valor previsto pelo modelo (STATISTICA ELECTRONIC MANUAL, 2005)

3.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A caracterização físico-química da polpa de banana verde e das emulsões foi realizada no Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA) e no Laboratório de Química Analítica Aplicada (LQAA) do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, as análises foram realizadas em triplicata e o resultado expresso pela média dos valores incluindo o desvio padrão. A Tabela 16 mostra as análises e os métodos utilizados.

TABELA - 16 MÉTODOS UTILIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE BANANA VERDE E DAS EMULSÕES

ANÁLISES	MÉTODO
umidade e substâncias voláteis	gravimetria em estufa convencional a 105°C por 24 horas (IAL n° 4.5.1, 1985).
resíduo mineral fixo	gravimetria, mediante incineração da amostra em mufla a 550°C até obtenção de cinzas clara (IAL n° 4.8 1985).
gordura total	extração em aparelho Soxhlet, utilizando-se éter de petróleo como solvente (IAL, n° 4.10 1985)
acidez	titulação com NaOH padronizado e resultado expresso em mL de solução normal (mL/100g) (IAL n° 13.6.2 1985).
pH	processo potenciométrico, utilizando pHâmetro a 25°C, (IAL, n° 4.7.2, 1985).
proteínas	método de Kjeldahl, empregando-se 5,75 como fator de correção de nitrogênio/proteína para vegetais (IAL n° 4.12, 1985).
fibra bruta	digestão ácida com solução de ácido sulfúrico 1,25%, seguida por digestão alcalina com hidróxido de sódio 1,25%. (IAL n° 4.15, 1985).
carboidratos	diferença entre a massa inicial da amostra (100g) e o total da massa de proteínas, de lipídios, de resíduo mineral fixo e de fibra bruta (USP, 2006).
valor calórico total	valor calórico = (4 X proteínas) + (9 X lipídios) + (4 X carboidratos). (SOUCI, FACHMAN e KRAUT, 2000).
sais minerais	os valores de cálcio, fósforo, magnésio foram determinados de acordo com os métodos analíticos da AOAC (2000), números 999.10, 999.11 e 995.11 respectivamente, já o potássio, sódio e ferro foram determinados conforme FREITAS et al. (1979).

3.6 COMPORTAMENTO REOLÓGICO E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

As análises para obtenção das propriedades reológicas das emulsões foram conduzidas em reômetro rotacional Haake Rheostress 600 (Haake) (Figura 19a) com sensor de geometria cone e placa (60mm de diâmetro e 2° de ângulo de cone), conforme mostra a Figura 19b e c. esse sensor foi escolhido por ter sido utilizado em estudos com maioneses tradicionais e *light*, maionese com β -glucana e emulsões com luteína e ficocianina (PERESSINI et al., 1998; WORRASINCHAI et al., 2005; GUILMINEAU e KOLUZIK, 2005 e BATISTA et al. 2006).

As medidas foram feitas nas temperaturas de 10°C e 25°C usando-se banho de circulação de água (Haake DC-30) e um sistema de controlador universal de temperatura (UTC) (Haake, Karlsruhe, Germany) (Figura 19d).

A temperatura de 10°C foi escolhida por se tratar de temperatura de refrigeração já que, maioneses comerciais após abertas são conservadas em geladeira, já a temperatura de 25°C, por ser temperatura ambiente e também foi utilizada por muitos autores para estudo do comportamento reológico em maioneses e em purês de frutas (GUERRERO e ALZAMORA, 1997 e 1998; PERESSINI et al., 1998; BRANCO, 2003; WORRASINCHAI et al., 2005),

As curvas crescentes tiveram duração de 1 minuto e decrescente 1 minuto, totalizando 2 min, a uma taxa de cisalhamento de 0 a 300 s⁻¹. Essa faixa foi utilizada anteriormente para maioneses e purês de frutas (GUERRERO e ALZAMORA, 1997 e 1998; WORRASINCHAI et al., 2005 e HAMINIUK et al., 2006b). Para cada curva da taxa de cisalhamento obteve-se 25 pontos de tensão de cisalhamento, resultando num total de 50 pontos, cujas médias foram calculadas para cada valor de taxa.

FIGURA 19 – REÔMETRO ROTACIONAL HAAKE RHEOSTRESS 600



Com o objetivo de verificar o erro da preparação das amostras, as análises reológicas foram feitas em duplicata com emulsões feitas em diferentes datas e três corridas experimentais foram feitas para cada formulação, onde os dados de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente foram plotados pela média dos três valores experimentais.

Os dados de viscosidade aparente (η_{ap}) e tensão de cisalhamento (σ) foram obtidos pelo software HAAKE RHEOWIN SOFTWARE (versão 3.0, Alemanha).

Os dados experimentais foram ajustados de acordo com os modelos reológicos de Herschel-Bulkley, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson e Mizhari-Berk., utilizando o software ORIGIN 7.0 (OriginLab Corporation, MA, USA), onde, conforme o modelo, se obteve os parâmetros reológicos: tensão inicial (σ_0), índice de comportamento (n) e coeficiente de consistência (K) e estatísticos: coeficiente de correlação (R^2), Qui-quadrado (χ^2) e a soma do quadrado do resíduo (SQR), os quais foram avaliados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey com o programa MSTATC (versão 2.10, Michigan, USA), (KOEHLER, 1999).

Os parâmetros estatísticos estão descritos conforme o manual do STATISTICA 7.1 (STATISTICA ELECTRONIC MANUAL, 2005), onde:

- R^2 – coeficiente de determinação – mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão, definido como a soma quadrática total, conforme a equação 16:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \pm \sum \frac{(Y_{pred} - \hat{Y})^2}{(Y_{obs} - \hat{Y})^2} \quad (16)$$

Onde: \hat{Y} = média amostral; SQR = soma quadrática devido a regressão; SQT = soma quadrática total;

- χ^2 – qui-quadrado – expressa a diferença entre os valores previstos (esperados) pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente (observados):

$$\chi^2 = \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2}{Y_{pred}} \quad (17)$$

Onde: χ^2 = teste do qui-quadrado; Y_{obs} = valor experimental; Y_{pred} = valor previsto pelo modelo;

Quanto maior foi o valor de χ^2 maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com baixos valores de χ^2 .

- SQR – Soma dos Quadrados dos Resíduos – identifica o erro no ajuste da curva.

Por Metodologia de Superfície de Resposta, usando o software o STATISTICA 7.1 (Stat-Soft, Tulsa, OK, USA), foi avaliada a influência da concentração de polpa de banana verde, óleo de soja e água nos parâmetros reológicos, nas temperaturas de 10 e 25°C, obtidos pelo modelo que melhor representou o comportamento das emulsões.

3.7 ESTABILIDADE

A estabilidade das emulsões foi avaliada visualmente pela dispersão das partículas em microscópio óptico da marca Olympus modelo CH30/CH40 (Tóquio, Japão) acoplado com máquina fotográfica (Olympus, modelo PM-10Ak3, Tóquio, Japão).

Com o auxílio de uma pequena espátula de aço-inox, pequena quantidade de amostra foi colocada sobre a lâmina seca e limpa, em seguida a amostra foi coberta delicadamente com a lamínula. A montagem foi focalizada e avaliada com aumentos de 10, 40 e 100X, sendo as estruturas das emulsões ficaram melhor visualizadas com o aumento de 40X.

As emulsões foram observadas em diferentes estágios, no primeiro dia de preparação, após 15, 30, 45 e 60 dias.

3.8 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

A cor das amostras das emulsões e da polpa de banana verde foi medida no sistema L^* , a^* , b^* fornecidos pelo espectrofotômetro (colorímetro) da marca Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 45/0-L, o qual foi calibrado utilizando placas de porcelana preto e branco.

Pequena quantidade da amostra foi colocada em placa de Petri e a leitura foi feita direta no equipamento. Nesse sistema de cores L^* representa a luminosidade ($L^* = 0$ – preto e $L^* = 100$ – branco) e a^* e b^* são as coordenadas de cores responsáveis pela cromaticidade: (+ a^* é o vermelho e – a^* é o verde, + b^* é o amarelo e – b^* é o azul) (HUNTERLAB, 1996).

Foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) entre emulsões e a polpa de banana verde (ΔE^*_{1}) e entre as emulsões e a maionese comercial tradicional (ΔE^*_{2}). A diferença total de (ΔE^*) foi determinada utilizando a equação 18 de acordo com NSONZI e RAMASWAMY (1998):

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Onde as alterações em cada parâmetro individual de cor foram calculadas de acordo com as equações 19, 20 e 21 (CHUA et al., 2001):

$$\Delta L^* = L^* - L^*_0 \quad (19)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_0 \quad (20)$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_0 \quad (21)$$

Neste trabalho, os valores de L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 referiram-se aos parâmetros de cor das emulsões e os valores de L^* , a^* e b^* referiram-se aos parâmetros de cor da polpa de banana verde e da maionese comercial.

3.9 AVALIAÇÃO SENSORIAL

Os testes de avaliação sensorial foram realizados no laboratório da usina piloto (bloco B) do programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos da UFPR.

A aceitação das emulsões foi feita através do teste de Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), teste de preferência pela escala hedônica e atitude de compra.

Primeiramente, uma comissão composta por 20 julgadores treinados avaliou, nas cinco amostras, de acordo com a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991), os atributos: aparência, odor de banana, cor, textura, gosto de banana, oleosidade, adesividade e o sabor geral utilizando a escala não estruturada que variou de 1 a 9, em que o valor um (1) correspondeu ao limite inferior e o valor nove (9) ao limite superior do atributo analisado. As definições para os atributos analisados estão listadas na Tabela 17, conforme IZIDORO et al., (2006b).

Aproximadamente 5g de cada amostra foi servida em copos descartáveis (50ml), a temperatura de refrigeração ($10^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e codificadas de forma aleatória com 3 dígitos. Para neutralizar o paladar serviram-se biscoitos do tipo e água e sal e água morna.

TABELA 17 – DEFINIÇÕES PARA OS ATRIBUTOS SENSORIAIS AVALIADOS NAS AMOSTRAS

ATRIBUTOS	DEFINIÇÃO
aparência	homogeneidade da emulsão;
cor	luminosidade, onde o limite inferior foi a cor da polpa e o limite superior foi a cor de leite;
textura	força requerida para a puxar a amostra da colher, onde o limite inferior de textura foi o leite e o limite superior a maionese comercial
oleosidade	quantidade de óleo na superfície bucal;
adesividade	força requerida para remover as amostras do molar;
sabor geral	aceitação geral do sabor envolvendo os atributos anteriores;

Na Figura 20 estão os limites para cor e textura e também o aroma de banana que foi o limite superior para este atributo.

FIGURA – 20 LIMITES INFERIORES E SUPERIORES PARA COR E TEXTURA E LIMITE SUPERIOR DE AROMA DE BANANA



O teste de ADQ foi feito em duas etapas. As fichas utilizadas pelos julgadores encontram-se nos Apêndices 11 e 12.

O teste de escala hedônica foi feito com 36 julgadores que utilizaram escala estruturada onde o número 1 = desgostei muitíssimo e o número 9 = gostei muitíssimo (DUTCOSKY, 1996), a atitude de compra foi realizada conforme (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991) utilizando escala de 5 pontos onde o número 1 = eu nunca compraria este produto e o número 5 = eu certamente compraria este produto. A análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação das médias (Tukey) foram realizados utilizando o programa MSTATC (versão 2.10, Michigan, USA), (KOEHLER, 1999). A ficha utilizada pelos julgadores encontra-se no Apêndice 13.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PADRONIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

4.1.1 Banana verde

A banana verde foi classificada conforme VON LOESEKE (1950) como grau 1 na escala de maturação (totalmente verde).

Os resultados de pH, sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), acidez titulável, umidade e a razão (Brix/acidez titulável) estão apresentados na Tabela 18 e tiveram a função de padronizar a matéria-prima para utilização neste trabalho.

TABELA 18 – COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA A BANANA VERDE

PARÂMETROS	VALORES EXPERIMENTAIS
Umidade (%)	$71,69 \pm 0,12$
pH	$5,2 \pm 0,6$
Sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix)	$5,15 \pm 0,31$
Acidez titulável (g/100ml)*	$0,148 \pm 0,01$
Razão $^{\circ}$ Brix/Acidez titulável	34,80

* Expresso em ácido málico

Os valores obtidos para umidade estão de acordo com MORTON (1987) que encontrou umidade média de 70% para banana verde e em torno de 75% para a banana madura e afirmam que durante a maturação, a umidade da polpa aumenta ligeiramente, devido às transformações ocorridas com os carboidratos.

Com relação ao pH e acidez titulável (em ácido málico) os resultados estão em comum com LIMA et al., (2004) que encontram valores similares para banana em grau 1 de coloração da casca. Dentre os ácidos encontrados na banana estão: ácido málico, ácido cítrico e ácido oxálico como predominantes. De acordo com SEYMOUR (1993) o ácido málico e o cítrico são responsáveis pelo sabor azedo da banana verde e o ácido oxálico é responsável pela adstringência da fruta e a medida que ocorre o amadurecimento há uma redução desses ácidos e o sabor vai se tornando adocicado principalmente devido ao açúcares provindos da degradação do amido.

Os sólidos solúveis totais (SST) aumentam rapidamente com a maturação da fruta e nesse trabalho o valor de SST (°Brix) encontrado para a banana verde foi superior ao encontrado por SILVA et al. (2006), que logo após a colheita encontraram na banana-prata $3,20 \pm 0,23$ °Brix.

4.1.2 Polpa de Banana Verde

A Tabela 19 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos para a polpa cozida de banana verde.

TABELA 19 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA A POLPA COZIDA DE BANANA VERDE

PARÂMETROS (g/100g)	Polpa de banana verde (PBV)	PBV (base seca) %
Umidade	$89,05 \pm 0,56$	-
pH a 25°C	$6,21 \pm 0,01$	-
Acidez (mL/100g)	$1,39 \pm 0,08$	-
Carboidratos	$10,17 \pm 0,39$	$92,87 \pm 0,46$
Proteínas	$0,28 \pm 0,04$	$2,56 \pm 0,09$
Fibras	$<0,10$	$< 0,91$
Gordura total	$0,13 \pm 0,01$	$1,19 \pm 0,33$
Cinzas	$0,37 \pm 0,02$	$3,38 \pm 0,21$
Cálcio*	$7,16 \pm 1,25$	-
Fósforo*	$7,88 \pm 0,76$	-
Magnésio*	$14,74 \pm 0,12$	-
Potássio*	$118,54 \pm 3,82$	-
Sódio*	$26,56 \pm 3,75$	-
Ferro*	$0,74 \pm 0,11$	-
Valor calórico (Kcal/100g)	42,97	-

* mg/100g

VALLE e CAMARGOS (2003), analisando a polpa cozida de banana verde encontraram 64,79% de umidade, já MORTON (1987) traz uma faixa de 58,7 a 74,1% de umidade para a banana verde cozida e nesse trabalho, o alto conteúdo de umidade (89,05%), está relacionado a quantidade de água adicionada, que foi na proporção de 1:1 para banana verde cozida e água.

Verificou-se também que quantidade de carboidratos (10,17%), apresentou-se um pouco menor que para VALLE e CAMARGOS (2003), 19,64%, o que se deve ao alto conteúdo de umidade da polpa. Em base seca, o valor aproxima-se do encontrado por TORRES et al. (2005) que analisou a farinha de banana verde da

variedade *Nanicao* em que a quantidade de carboidratos em matéria-seca foi de 91,70% sendo que dessa proporção a quantidade de amido foi de 87,80%.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS EMULSÕES

As análises físico-químicas assim como os valores calóricos para cada formulação estão listadas na Tabela 20.

TABELA 20 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR CALÓRICO PARA TODAS AS FORMULAÇÕES

PARÂMETROS (g/100g)	F1 água/óleo/PBV (0,10/0,20/0,70)	F2 água/óleo/PBV (0,20/0,20/0,60)	F3 água/óleo/PBV (0,10/0,25/0,65)	F4 água/óleo/PBV (0,20/0,25/0,55)	F5 água/óleo/PBV (0,15/0,225/0,625)
Umidade	72,04 ± 0,04 a	72,87 ± 0,07 b	67,59 ± 0,03 c	67,87 ± 0,16 d	70,33 ± 0,17 e
pH a 25°C	4,40 ± 0,01 a	4,40 ± 0,01 a	4,40 ± 0,01 a	4,40 ± 0,01 a	4,40 ± 0,01 a
Acidez (mL/100g)	3,33 ± 0,10 a	3,18 ± 0,04 a	3,20 ± 0,04 a	3,09 ± 0,20 a	3,14 ± 0,10 a
Carboidratos	7,32 ± 0,12 a	5,78 ± 0,11 b	6,78 ± 0,10 c	6,45 ± 0,12 d	5,87 ± 0,09 b
Proteínas	0,38 ± 0,03 a	0,27 ± 0,02 a	0,33 ± 0,03 a	0,33 ± 0,02 a	0,37 ± 0,01 a
Fibras	<0,10 a	<0,10 a	<0,10 a	<0,10 a	<0,10 a
Gordura total	18,50 ± 0,12 a	19,39 ± 0,03 b	23,60 ± 0,07 c	23,67 ± 0,19 d	21,68 ± 0,02 e
Cinzas	1,76 ± 0,01 a	1,69 ± 0,03 a	1,70 ± 0,01 a	1,68 ± 0,02 a	1,68 ± 0,03 a
Cálcio*	10,65 ± 0,62 a	7,00 ± 0,10 b	6,61 ± 0,96 b	8,00 ± 1,42 b	6,98 ± 0,47 b
Fósforo*	1,55 ± 0,58 a	0,46 ± 0,21 a	5,37 ± 0,04 b	5,24 ± 0,39 b	5,11 ± 0,12 b
Magnésio*	10,54 ± 0,23 a	9,90 ± 0,53 a	10,34 ± 0,52 a	10,31 ± 0,34 a	10,54 ± 0,82 a
Potássio*	95,85 ± 4,08 a	81,53 ± 1,10 b	81,44 ± 1,27 b	78,11 ± 1,65 b	85,13 ± 2,24 a
Sódio*	500,73 ± 1,23 a	527,10 ± 2,74 b	517,07 ± 3,92 b	525,22 ± 2,87 b	537,12 ± 0,94 c
Ferro*	0,64 ± 0,13 a	0,62 ± 0,05 a	0,71 ± 0,03 a	0,57 ± 0,04 a	0,60 ± 0,10 a
Valor calórico (Kcal/100g)	197,32 ± 0,69 a	198,74 ± 0,35 a	240,84 ± 0,31 b	240,17 ± 1,45 b	220,15 ± 0,24 c

*valores em mg/100g

Nota: Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada linha, são significativamente iguais pelo teste de Tukey.

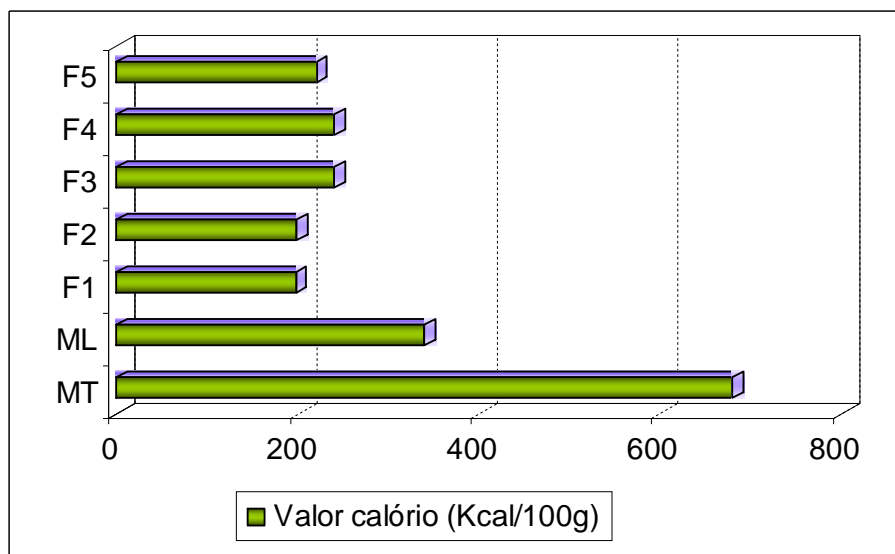
O teor de umidade das emulsões foi influenciado pela umidade dos ingredientes como: água (100%), vinagre (100%), sal (0,74%), mostarda em pó (6,36).

Não houve diferença significativa entre as formulações para proteínas, cinzas, fibras, acidez e pH, que pode ser explicado pelos ingredientes como mostarda, sal e vinagre terem valores fixos em todas as formulações, os carboidratos, por outro lado, tiveram pequeno aumento com o aumento de polpa de banana verde.

Lipídios e o valor calórico tiveram seus valores significativamente aumentados com o aumento de óleo, as formulações F3, F4 e F5 tiveram os maiores valores para estes parâmetros devido ao maior teor de óleo de soja nessas amostras.

De acordo com QMC WEB (2004) uma maionese tradicional tem 680Kcal/100g enquanto que as com menor teor de gordura (*light*) tem 340Kcal/100g. Nesse trabalho os valores calóricos para as emulsões estiveram entre 197, 30 a 240,79Kcal/100g, ou seja, mesmo as formulações com maior conteúdo de óleo (F3 e F4) apresentaram menos calorias que a maionese comercial com menor teor de gordura. Na Figura 21 encontra-se essa comparação pelo gráfico de barras entre os valores calóricos das formulações e da maionese tradicional (MT) e maionese *light* (ML).

FIGURA – 21 VALOR CALÓRICO DAS EMULSÕES DE BANANA VERDE E DAS MAIONESES COMERCIAIS: TRADICIONAL E LIGHT.

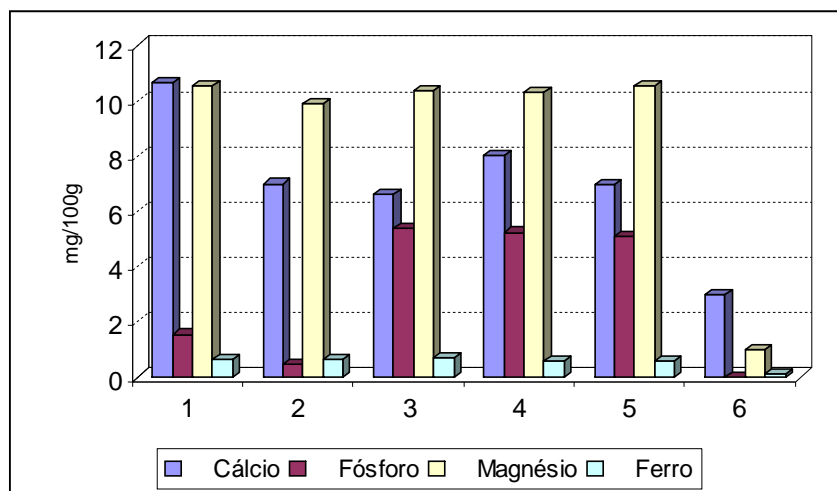


Nota: MT – maionese tradicional, ML – maionese *light*

Segundo a Tabela TACO (2006) a maionese comercial tradicional possui por 100g: 3mg de cálcio, 1mg de magnésio, 0,1mg de ferro, 16mg de potássio, 787mg de sódio e não apresenta valores significativos para fósforo. Exceto pelo valor de sódio, todas as formulações com polpa de banana verde obtiveram maiores valores para os sais minerais listados, baseado nisso, pode ser verificado que a polpa de banana verde contribui significativamente para aumentar os valores nutritivos das

emulsões. Na Figura 22, pode ser percebido a diferença entre esses teores de sais minerais das formulações e da maionese comercial tradicional listado na Tabela TACO (2006) .

FIGURA 22 – VALORES DE SAIS MINERAIS DAS EMULSÕES DE BANANA VERDE E DA MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL.

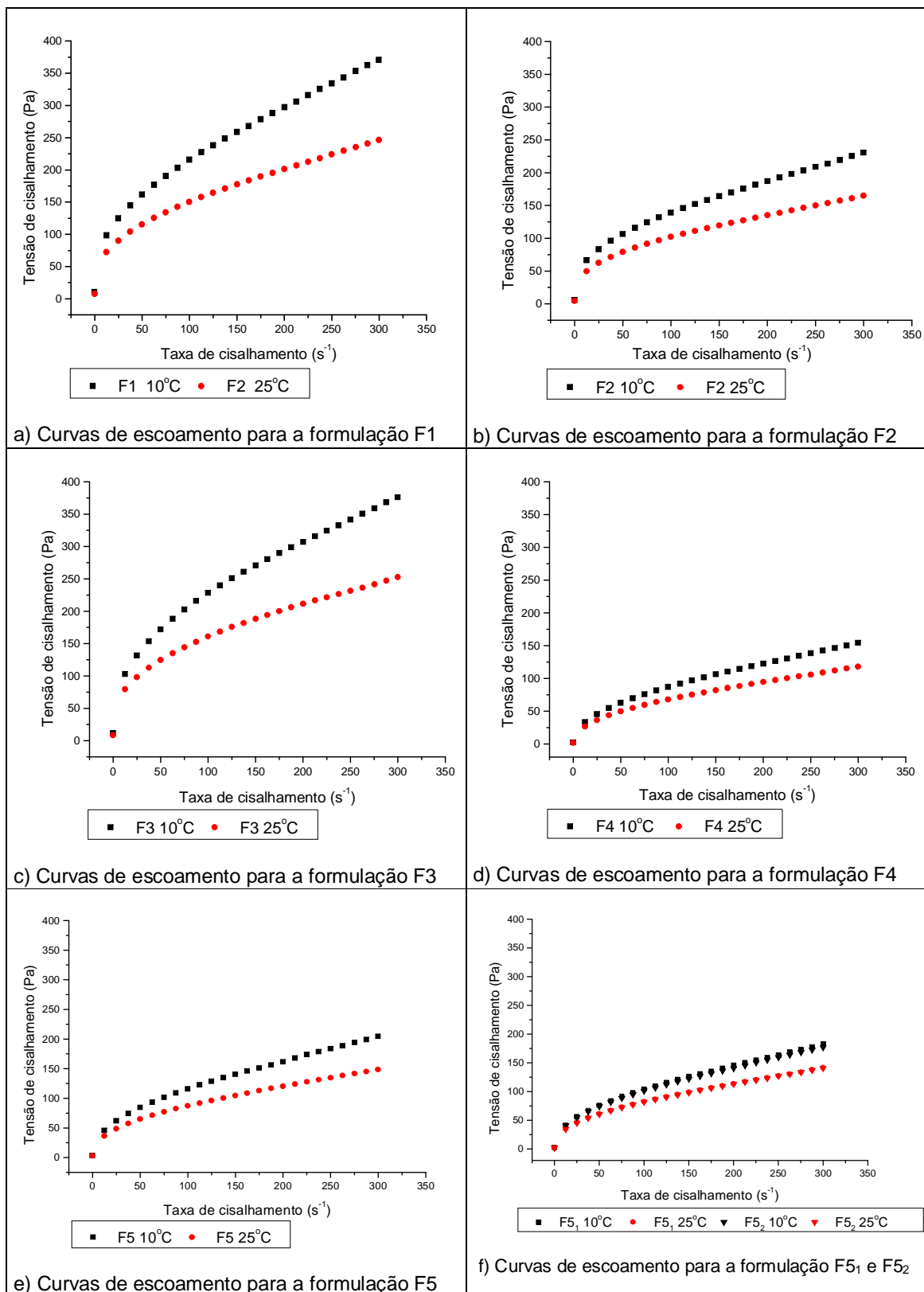


Nota: 1 – F1, 2 – F2, 3 – F3, 4 – F4, 5 – F5, 6 – MAIONESE COMERCIAL

4.3 COMPORTAMENTO REOLÓGICO E SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

Curvas típicas de escoamento para cada formulação, nas proporções de água, óleo e polpa de banana verde respectivamente: F1(0,10/0,20/0,70), F2(0,20/0,20/0,60), F3(0,10/0,25/0,65), F4(0,20/0,25/0,55) e F5 (0,15/0,225/0,625), na temperatura de 10 e 25°C estão apresentadas na Figura 23. Os resultados dos experimentos individuais estão no Apêndice 1 e 2.

FIGURA 23 – REOGRAMAS PARA AS FORMULAÇÕES NAS TEMPERATURAS DE 10 E 25°C.



Não foi observada diferença entre as curvas crescentes (taxa de cisalhamento de $0 - 300\text{s}^{-1}$) e decrescentes (taxa de cisalhamento de $300 - 0\text{s}^{-1}$), sendo considerados os valores das médias.

Pela Figura 26 (curvas de escoamento) observou-se que, para certa taxa de deformação, diferentes valores de tensão de cisalhamento foram obtidos. De acordo com IBRAZ e BARBOSA-CANÓVAS (1999), esta característica, ou seja, a não proporcionalidade entre a tensão e a taxa de cisalhamento é típica de um comportamento não-Newtoniano. Também foi verificado que o comportamento reológico das formulações (Figura 26) foi afetado pela temperatura, como já foi observado anteriormente por GUERRERO e ALZAMORA (1997) e HAMINIUK et al. (2005 e 2006a) estudando escoamento de purês e polpas de frutas.

Dentre os quatro modelos utilizados para descrever o comportamento reológico das emulsões, os que mais se ajustaram aos dados experimentais foram os modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e o Herschel-Bulkley por terem proporcionado os melhores parâmetros estatísticos para o ajuste dos dados experimentais apresentando maiores valores de R^2 e menores valores de χ^2 .

O modelo de Lei da Potência, segundo BRANCO (2003) é um modelo simples e de ampla aplicação tecnológica, já o modelo de Herschel-Bulkley vem sendo bastante utilizado tanto em maioneses como em purês de frutas por apresentar o parâmetro da tensão inicial que apresenta elevada importância em aplicações industriais (MA e BARBOSA-CANOVAS, 1994; GUERRERO e ALZAMORA, 1997 e 1998, HAMIKIUK et al., 2005, HAMINIUK et al. 2006a e 2006b).

Foi verificado que os parâmetros estatísticos: coeficiente de correlação (R^2), para os dois modelos foram iguais ou maiores que 0,985 e que também o Qui-quadrado (χ^2) apresentou baixos valores, o que indicou que ambos apresentaram bom ajuste, apesar disso, a discussão sobre os parâmetros reológicos: tensão inicial (σ_{0H}), coeficiente consistência (K) e índice de comportamento do fluido (n), foram limitados ao modelo de Herschel-Bulkley, já que nesse modelo considera-se a tensão inicial.

Os dados reológicos ajustados com o modelo de Herschel-Bulkley encontram-se nas Tabelas 21 e 22.

TABELA 21 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F5₁ E F5₂), NA TEMPERATURA DE 10°C.

Formulações (água/óleo/PBV)	Tensão inicial σ_{OH} (Pa)	Coefficiente de consistência K (Pa.s ⁿ)	Índice de comportamento n (adimensional)	SQR	R ²	X ²
F1 (0,10/0,20/0,70)	14,01 ± 1,55 a	21,314 ± 0,55 a	0,409 ± 0,01 a	6,810	0,986	22,79
F2 (0,20/0,20/0,60)	3,536 ± 0,33 b	9,614 ± 0,39 b	0,504 ± 0,01 a	2,441	0,987	3,109
F3 (0,10/0,25/0,65)	10,360 ± 1,11 c	27,345 ± 0,49 c	0,451 ± 0,01 a	4,874	0,987	9,861
F4 (0,20/0,25/0,55)	2,354 ± 0,27 b	7,875 ± 0,12 d	0,515 ± 0,01 a	1,555	0,985	1,309
F5 (0,125/0,225/0,625)	6,381 ± 0,05 d	17,254 ± 0,02 e	0,446 ± 0,01 a	5,027	0,985	10,19
F5 ₁ (0,125/0,225/0,625)	6,137 ± 0,57 d	17,283 ± 0,28 e	0,449 ± 0,01 a	4,851	0,985	9,457
F5 ₂ (0,125/0,225/0,625)	6,234 ± 0,19 d	17,319 ± 0,10 e	0,444 ± 0,01 a	4,738	0,985	9,023

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey. SQR – soma do quadrado dos resíduos, R² – coeficiente de determinação, X² – qui-quadrado.

TABELA 22– PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F5₁ E F5₂), NA TEMPERATURA DE 25°C.

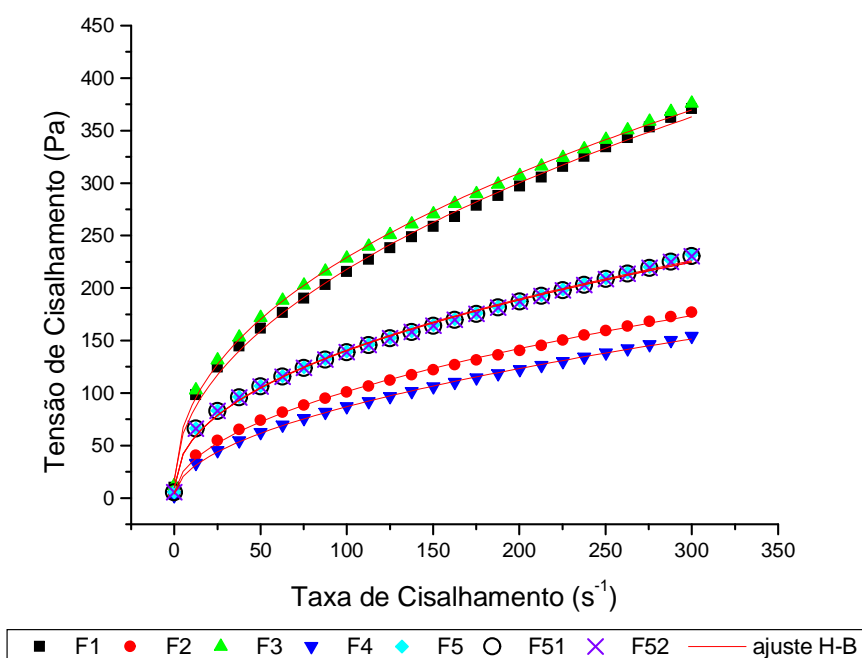
Formulações (água/óleo/PBV)	Tensão inicial σ_{OH} (Pa)	Coefficiente de consistência K (Pa.s ⁿ)	Índice de comportamento n (adimensional)	SQR	R ²	X ²
F1 (0,10/0,20/0,70)	7,380 ± 0,40 a	19,163 ± 0,51 a	0,438 ± 0,01 a	4,726	0,987	8,709
F2 (0,20/0,20/0,60)	2,542 ± 0,34 bc	8,635 ± 0,05 b	0,482 ± 0,01 a	2,009	0,987	1,911
F3 (0,10/0,25/0,65)	4,697 ± 0,42 d	25,118 ± 0,60 c	0,398 ± 0,01 a	3,720	0,988	4,377
F4 (0,20/0,25/0,55)	1,606 ± 0,59 b	6,761 ± 0,51d	0,495 ± 0,01 a	1,365	0,985	0,939
F5 (0,125/0,225/0,625)	4,063 ± 0,41 de	14,128 ± 0,42 e	0,421 ± 0,01 a	3,455	0,986	4,293
F5 ₁ (0,125/0,225/0,625)	3,159 ± 0,32 ce	15,032 ± 0,36 e	0,413 ± 0,01 a	3,397	0,986	3,972
F5 ₂ (0,125/0,225/0,625)	3,686 ± 0,37 cde	14,447 ± 0,41 e	0,419 ± 0,01 a	3,384	0,986	4,304

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey. SQR – soma do quadrado dos resíduos, R² – coeficiente de determinação, X² – qui-quadrado.

O modelo de Herschel-Bulkley já foi selecionado entre outros modelos como o Lei da Potência, Casson e Bingham para purês de frutas e maioneses devido a melhor compatibilidade já que a tensão inicial é considerada (GUERRERO, 1993).

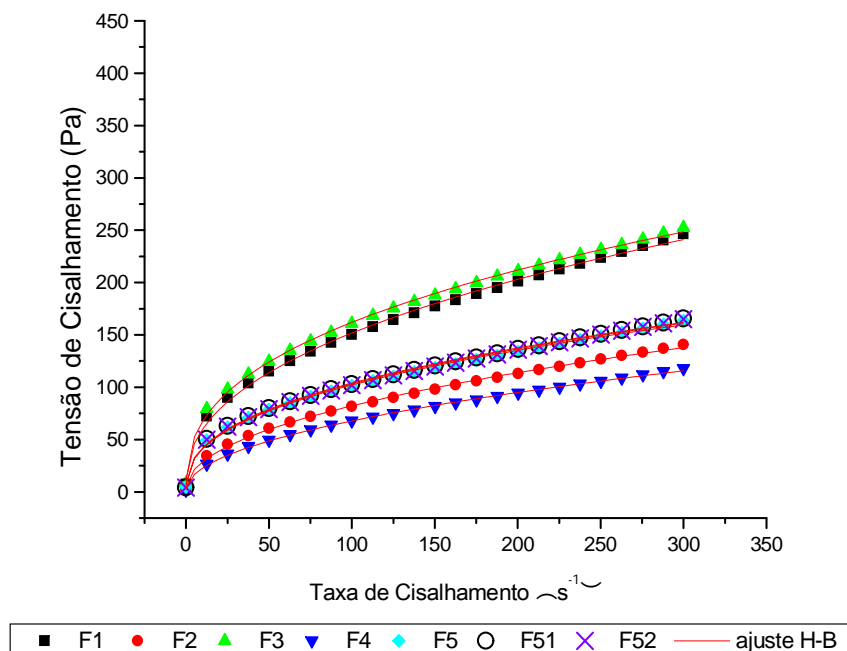
Os gráficos comparativos entre todas as formulações ajustados pelo modelo de Herschel-Bulkley estão mostrados na Figura 24 e Figura 25, os pontos marcados representam a média obtida pelos valores experimentais dos reogramas e as linhas contínuas são os resultados ajustados.

FIGURA 24 – REOGRAMAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES, AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY (H-B), NA TEMPERATURA DE 10°C.



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

FIGURA 25 – REOGRAMAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES, AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY (H-B), NA TEMPERATURA DE 25°C.



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

Verificou-se que as formulações F1 e F3 apresentaram maior tensão de cisalhamento comparada às outras formulações, o que deve ser atribuído a maior concentração de polpa de banana verde e menor concentração de água nessas emulsões. A curva central correspondeu às formulações do ponto central, (F5, F5₁ e F5₂) e as formulações com menor quantidade de polpa F2 e F4 apresentaram menores tensão de cisalhamento para ambas as temperaturas. Não houve diferença estatística entre os pontos centrais (F5, F5₁ e F5₂) o que mostrou pequeno erro experimental.

Pelas Tabelas 21 e 22, considerando o modelo de Herschel-Bulkley, pôde-se verificar que todas as emulsões exibiram comportamento pseudoplástico, devido aos valores do índice de comportamento (n) terem sido menores que um ($n < 1$) para todas as temperaturas. Nesse estudo, os valores de n variaram de 0,398 a 0,515 para as amostras em ambas as temperaturas o que confirma a pseudoplasticidade das formulações. O mesmo comportamento foi encontrado em estudos realizados

com diferentes tipos de maioneses (MA e BARBOSA-CANOVAS, 1995, WORRASINCHAI et al., 2005, BATISTA et al., 2006) e com purês de banana (GUERRERO e ALZAMORA, 1997).

As formulações F1 e F3 foram as que mais se aproximaram do comportamento reológico de maionese conforme WORRASINCHAI et al., (2005) que trabalharam na mesma faixa de taxa de cisalhamento (0 a 300s⁻¹).

Os coeficientes das equações ajustados pelo modelo quadrático para tensão inicial (σ_{OH}), coeficiente de consistência (K), índice de comportamento (n) e viscosidade aparente (η_{ap}), assim como seus erros padrões, em ambas as temperaturas estão listados nas Tabelas 23 e 24. Os delineamentos para superfície de resposta encontram-se nos Apêndices 9 e 10.

TABELA 23 – COEFICIENTES OBTIDOS DO MODELO QUADRÁTICO PARA OS PARÂMETROS: σ_{OH} , n, K, η_{AP} , NA TEMPERATURA DE 10°C.

PSEUDOCOMPONENTES					
σ_{OH}	X'1	X'2	X'3	X'1 X'2	X'1 X'3
Coeficientes	2,24	3,04	14,01*	-0,68	-11,92*
Erro padrão	1,25	1,49	0,41	4,67	2,83
n					
Coeficientes	0,64*	0,37*	0,49*	-0,18*	-0,40*
Erro padrão	0,007	0,009	0,002	0,03	0,02
K					
Coeficientes	2,48	39,48*	21,32*	-31,16*	3,91
Erro padrão	1,38	1,64	0,45	5,16	3,13
η_{ap}					
Coeficientes	1,01*	2,54*	2,15*	-2,93*	-1,73*
Erro padrão	0,063	0,07	0,02	0,23	0,14

* Coeficientes significativos. X'1 = água; X'2 = óleo; X'3 = polpa de banana verde (PBV)

TABELA 24 – COEFICIENTES OBTIDOS DO MODELO QUADRÁTICO PARA OS PARÂMETROS: σ_{OH} , n , K , η_{AP} , NA TEMPERATURA DE 25°C.

PSEUDOCOMPONENTES					
σ_{OH}	X'1	X'2	X'3	X'1 X'2	X'1 X'3
Coeficientes	1,49	-0,78	7,38*	3,89	-4,08*
Erro padrão	0,84	0,99	0,27	3,12	1,89
n					
Coeficientes	0,61*	0,317*	0,44*	-0,087*	0,33*
Erro padrão	0,008	0,009	0,002	0,003	0,02
K					
Coeficientes	4,40*	37,12*	19,16*	-38,44*	-3,10
Erro padrão	0,89	1,05	0,29	3,31	2,01
η_{ap}					
Coeficientes	0,88*	1,82*	1,50*	-2,31*	-1,21*
Erro padrão	0,04	0,04	0,01	0,14	0,09

* Coeficientes significativos. X'1 = água; X'2 = óleo; X'3 = polpa de banana verde (PBV)

Na Tabela 25 encontram-se as equações de regressão, o coeficiente de correlação e o erro padrão para cada parâmetro reológico em termos dos pseudocomponentes nas temperaturas de 10 e 25°C.

TABELA 25 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E ERRO PADRÃO PARA CADA PARÂMETRO REOLÓGICO: σ_{OH} , k , n e η_{ap} .

Temperatura de 10°C	Eq	R ²	EP
$\sigma_{OH} = 2,24X'1 + 3,04X'2 + 14,01X'3 - 0,68X'1X'2 - 11,92X'1X'3$	22	0,972	2,13
$K = 2,48X'1 + 39,44X'2 + 21,32X'3 - 31,16X'1X'2 + 3,91X'1X'3$	23	0,987	2,35
$n = 0,64X'1 + 0,37X'2 + 0,49X'3 - 0,17X'1X'2 - 0,40X'1X'3$	24	0,982	0,01
$\eta_{ap} = 1,01X'1 + 2,54X'2 + 2,15X'3 - 2,93X'1X'2 - 1,73X'1X'3$	25	0,996	0,11
Temperatura de 25°C			
$\sigma_{OH} = 1,49X'1 - 0,78X'2 + 7,38X'3 + 3,89X'1X'2 - 4,09X'1X'3$	26	0,943	1,42
$K = 4,41X'1 + 37,12X'2 + 19,16X'3 - 38,44X'1X'2 - 3,09X'1X'3$	27	0,994	1,51
$n = 0,61X'1 + 0,32X'2 + 0,44X'3 - 0,08X'1X'2 - 0,33X'1X'3$	28	0,985	0,01
$\eta_{ap} = 0,88X'1 + 1,82X'2 + 1,50X'3 - 2,30X'1X'2 - 1,21X'1X'3$	29	0,996	0,06

Nota: Eq – equação. EP – erro padrão. R² – coeficiente de determinação. X'1 = água, X'2 = óleo, X'3 = PBV

Para KROKIDA et al. (2001) o índice de comportamento (n) é pouco afetado pela temperatura, com um leve aumento em altas temperaturas. As Figuras 29 e 30

mostram a influência da água no aumento desse parâmetro e que também é percebido pelos coeficientes das equações nas Tabelas 23 e 24 e pelas equações 24 e 28 da Tabela 25. O aumento do (n) mostra a tendência da mistura em se tornar um fluido Newtoniano com o aumento da concentração de água (HAMINIUK et al., 2006b).

Os maiores valores para o índice de comportamento (n) foram para a formulação F4, tanto a 10 como a 25°C, que contém 55% de PBV, 25% de óleo de soja e 20% de água.

Os diagramas ternários mostrando a influência das proporções de água, óleo e PBV em pseudocomponentes, no índice de comportamento (n), estão representados nas Figuras 26 e 27.

FIGURA 26 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) NA TEMPERATURA DE 10°C.

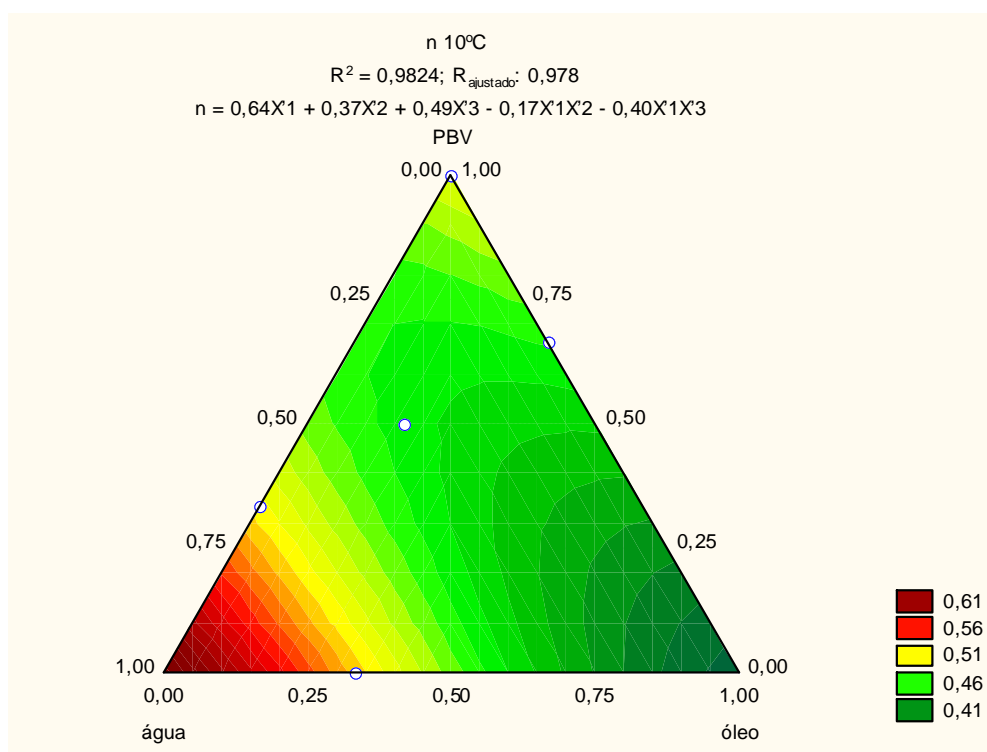
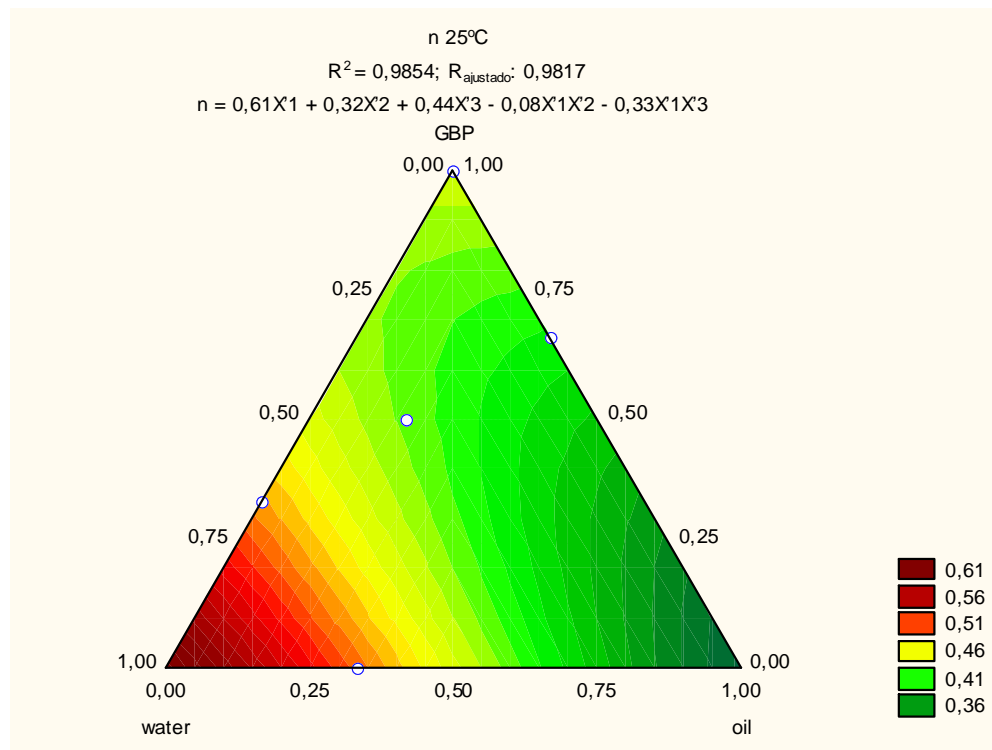


FIGURA 27 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) NA TEMPERATURA DE 25°C



A tensão inicial é definida como a mínima tensão de cisalhamento necessária para iniciar o escoamento (MA e BARBOSA-CANOVAS, 1994). Impõe estabilidade às emulsões em situações como: armazenagem e transporte (onde a tensão envolvida é geralmente menor que a tensão inicial), dessa maneira a possibilidade de alguma mudança na estrutura que leva a instabilidade é minimizada (RAHALKAR, 1992).

Nesse trabalho os valores de tensão inicial decresceram significativamente com o aumento da temperatura para todas as formulações (Tabelas 21 e 22). De acordo com HAMINIUK et al. (2006a) durante o processamento de alimentos, o aumento da temperatura faz com que a estrutura do mesmo se torne fraca. Resultados similares foram também obtidos para purês de frutas por GUERRERO e ALZAMORA (1997 e 1998).

As formulações com proporções de água/óleo/PBV que apresentaram maiores valores para a tensão inicial foram: F1(0,10/0,20/0,70) e F3(0,10/0,25/0,65),

seguidas da F5(0,15/0,225/0,625), F2(0,20/0,20/0,60) e F4(0,20/0,25/0,55), sendo que a F1 e F3 diferiram significativamente das demais, mostrando que a tensão inicial aumentou com a concentração de PBV. Os diagramas ternários mostrando a influência das proporções de água, óleo e PBV, em pseudocomponentes, na tensão inicial, estão representados nas Figuras 28 e 29.

FIGURA 28 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À TENSÃO INICIAL (σ_{OH}) NA TEMPERATURA DE 10°C.

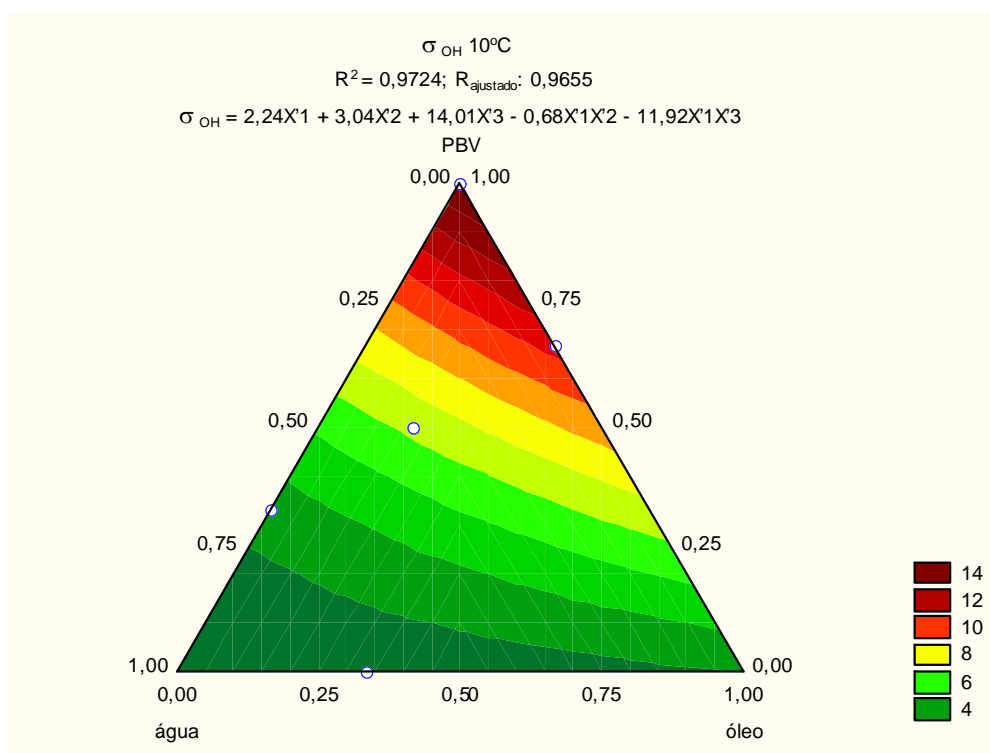
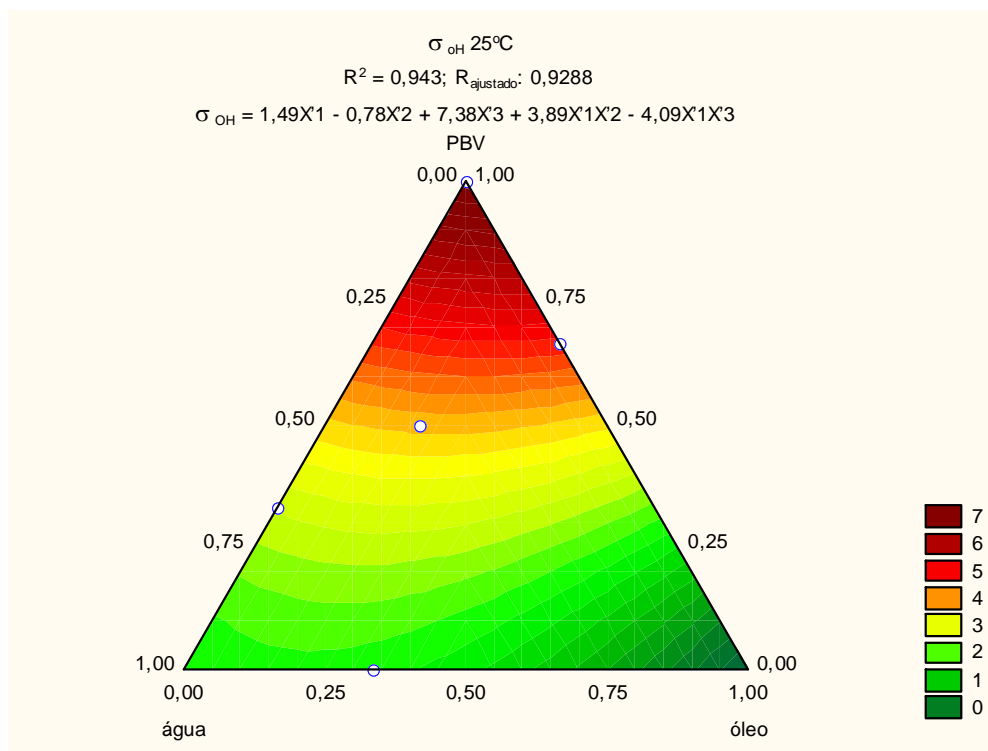


FIGURA 29 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À TENSÃO INICIAL (σ_{OH}) NA TEMPERATURA DE 25°C.



Pelas Figuras 28 e 29 e analisando as equações quadráticas para tensão inicial (22 e 26) da Tabela 25 e também pelos coeficientes das Tabelas 23 e 24, verificou-se que a polpa de banana verde (PBV) ($X'3$) teve a maior influência no aumento da tensão inicial e que a água ($X'1$) teve o menor efeito, mesmo quando associada com a polpa de banana verde ($X'1X'3$).

MA e BARBOSA-CANOVAS (1994) encontraram um aumento na tensão inicial em maionese com o aumento da concentração de goma xantana e também que a goma é responsável pela estabilidade da maionese. Dessa maneira é de se esperar um aumento da tensão inicial com um aumento da concentração de PBV, já que a mesma também é responsável pela estabilidade da emulsão bem como de sua estrutura pela formação de agregados de grandes tamanhos (YILMAZER e KOKINI, 1992).

A concentração de óleo ($X'2$), apresentou pequena influência nesse parâmetro, entretanto, em maioneses com proteínas de ovos (MA e BARBOSA-CANOVAS, 1994, PERESSINI et al., 1998) a tensão é bastante afetada pela

proporção de óleo de soja e de acordo com JAYNES (1985) e GLADWELL et al. (1986) uma rede tridimensional mais compacta é formada entre as moléculas da proteína do ovo e as gotas de óleo e essa rede compacta é responsável pelo aumento na tensão inicial.

A tensão inicial de algumas maioneses comerciais tem sido estudada por vários métodos (DEKEE et al. 1986; CAMPANELLA e PELEG, 1987) e tem apresentado uma grande faixa de valores. É um importante parâmetro no controle de qualidade em processos industriais, particularmente para comparar as características gerais para produtos feitos em diferentes linhas de produção (AHMED, 2004).

Os maiores valores para tensão inicial (σ_{OH}) correspondeu à formulação F1 onde se encontra 70% de PBV, 10% de água e 20% de óleo de soja.

Assim como a tensão inicial, os valores do coeficiente de consistência (K) (Tabelas 21 e 22) diminuíram com o aumento da temperatura para todas as formulações.

Nas Figuras 30 e 31 pôde ser verificado que a concentração de óleo teve influência significativa no aumento do coeficiente de consistência (K), seguido da polpa de banana verde. Os coeficientes das equações para o óleo ($X'1$) e PBV ($X'2$) são mostrados nas Tabela 23 e 24, para ambas as temperaturas, e confirmam essa influência, o que também pode ser verificado na Tabela 25 pelas equações de regressão (23 e 27) para este parâmetro.

MA e BARBOSA-CANÓVAS (1994) e GLADWELL et al. (1986) também verificaram aumento do coeficiente de consistência com a concentração de óleo em maioneses. Para URBANSKI et al. (1982) o coeficiente de consistência da suspensão se correlaciona linearmente com os polímeros intumescidos. Numa suspensão que é totalmente formada de polímeros, as partículas de polímeros intumescidas causam grandes fricções internas, de modo que aumente o coeficiente de consistência.

Os maiores valores para coeficiente de consistência (K) foram encontrados para a formulação F3 composta por 65% de PBV, 10% de água e 25% de óleo de soja.

FIGURA 30 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) NA TEMPERATURA DE 10°C.

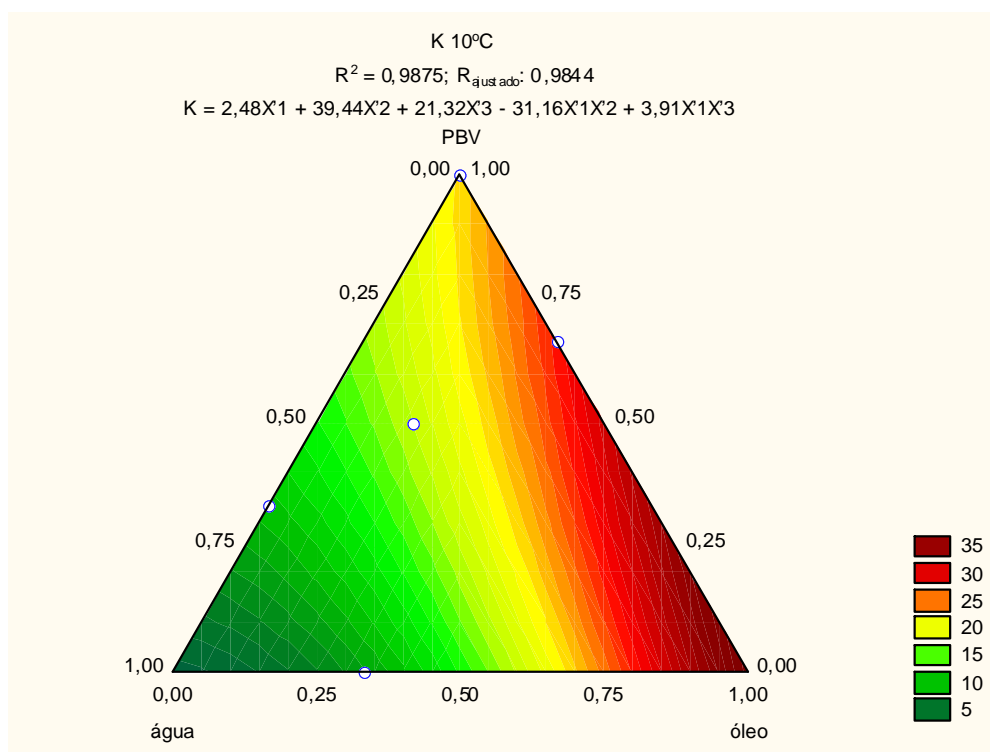
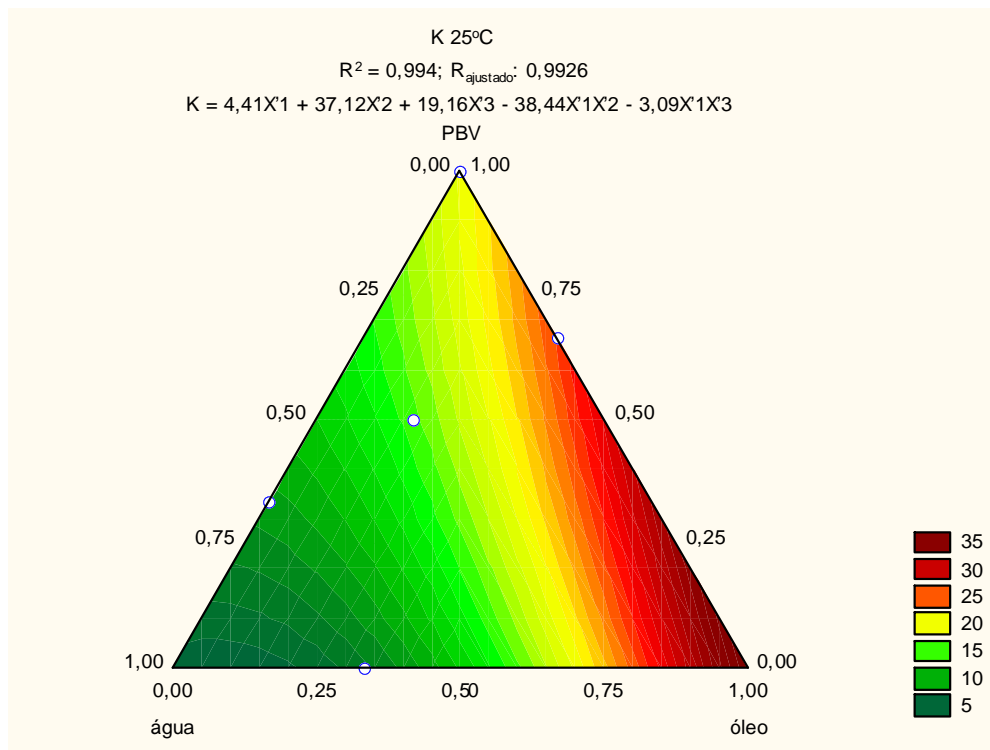


FIGURA 31 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO AO COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K) NA TEMPERATURA DE 25°C.



4.3.1 Viscosidade Aparente

A viscosidade aparente foi calculada de acordo com os parâmetros reológicos do modelo de Herschel-Bulkley: tensão inicial (σ_{0H}), índice de comportamento do fluido (n) e o coeficiente de consistência (K), conforme os dados das Tabelas 21 e 22, substituindo-se a equação 08 na equação 02, o que resultou na equação 30:

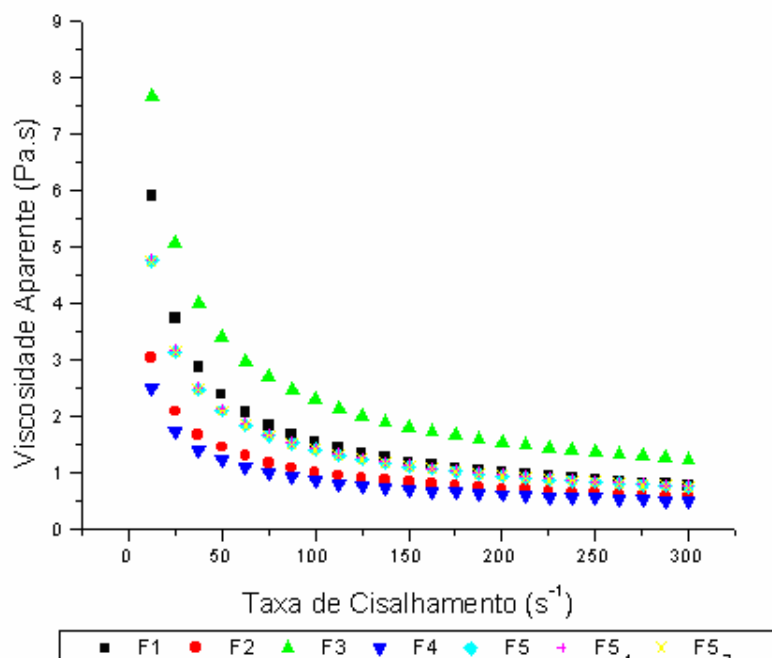
$$\eta_{ap} = \frac{\sigma_{0H} + K\gamma^n}{\gamma} \quad (30)$$

O cálculo da viscosidade foi realizado utilizando-se o software ORIGIN 7.0 (OriginLab Corporation, MA, USA).

Nos Apêndices 5 e 6 encontram-se os dados de viscosidade calculados e os dados obtidos experimentalmente estão nos apêndices 3 e 4.

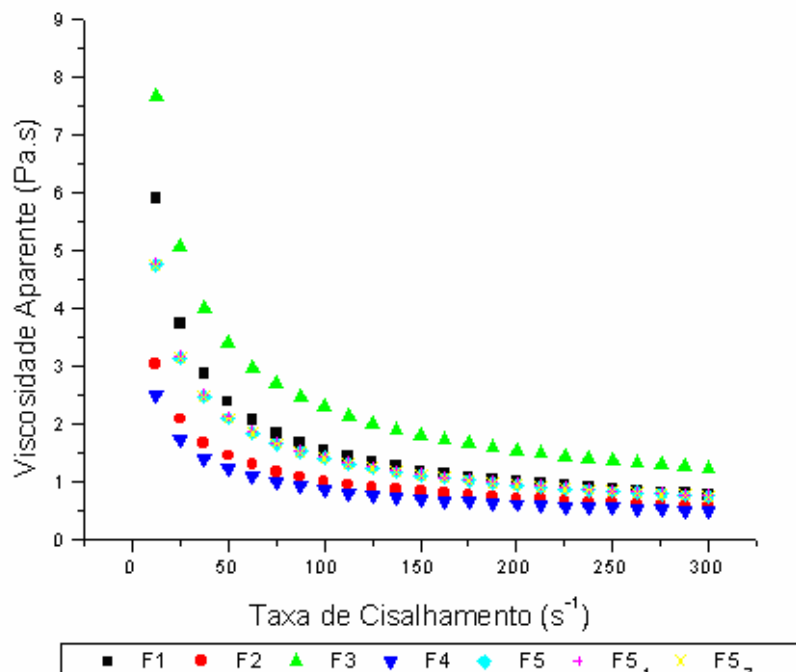
As Figuras 32 e 33 apresentam a viscosidade aparente versus taxa de cisalhamento, a qual foi calculada a partir do ajuste dos reogramas ao modelo de Herschel-Bulkley para todas as formulações a 10 e 25°C. Nas Figuras, a representação dos dados está sem o primeiro ponto, para melhor visualização, já que o primeiro ponto é bastante afastado dos demais.

FIGURA 32 – VISCOSIDADE APARENTE CALCULADA PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 10°C.



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

FIGURA 33 – VISCOSIDADE APARENTE CALCULADA PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS FORMULAÇÕES A 25°C.



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

A viscosidade aparente para todas as formulações decresceu com o aumento da temperatura e da taxa de cisalhamento e pode ser explicada pela quebra das estruturas moleculares devido a forças hidrodinâmicas geradas e ao aumento do alinhamento dos constituintes moleculares (ASPARLAN e HAITA, 2002, RAO e TATTYAKUL, 1999). Para McCLEMENTS (1999), as baixas taxas de cisalhamento não são suficientes para romper os agregados moleculares e aumentando-se a taxa de cisalhamento as forças hidrodinâmicas irão causar a separação dos agregados diminuindo a viscosidade.

Os coeficientes nas Tabelas 23 e 24 e as equações 25 e 26 da Tabela 25 mostram que as concentrações de óleo ($X'2$) e de polpa de banana verde ($X'3$) contribuíram para o aumento da viscosidade aparente. A água ($X'1$) teve baixa influência na viscosidade mesmo com a simultânea presença com óleo ($X'1X'2$) e PBV ($X'1X'3$) e os maiores valores para viscosidade aparente (η_{ap}) e coeficiente de

consistência (K) foram encontrados para a formulação F3 composta por 65% de PBV, 10% de água e 25% de óleo de soja.

As Figuras 34 e 35 mostram o comportamento dessas variáveis na viscosidade aparente.

FIGURA 34 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À VISCOSIDADE APARENTE (η_{ap}) NA TEMPERATURA DE 10°C

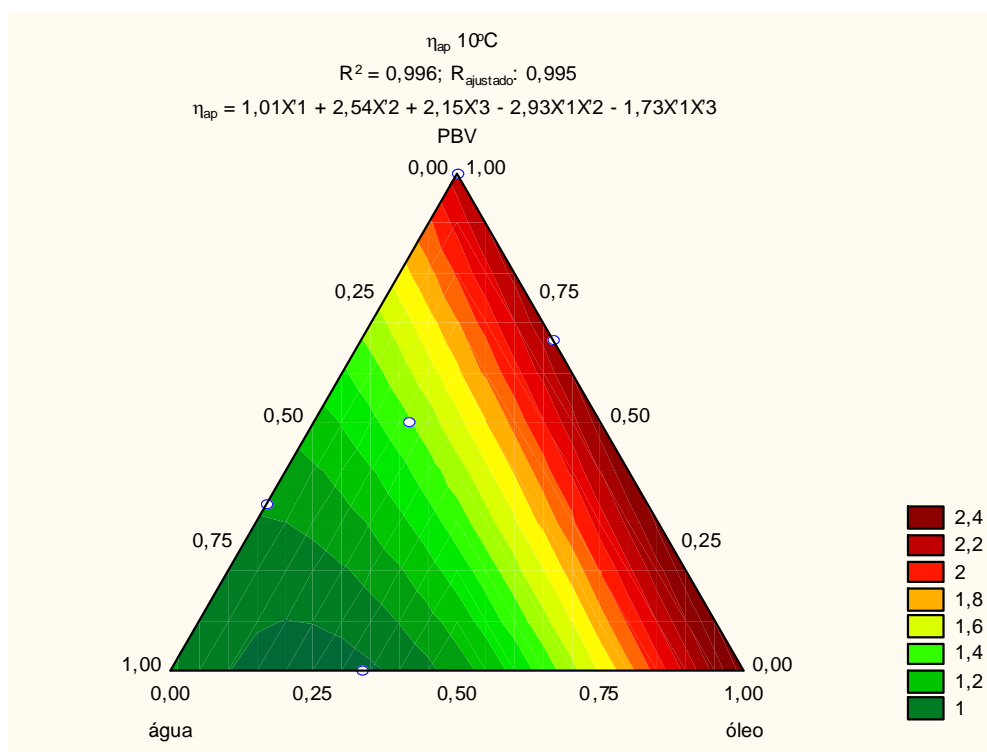
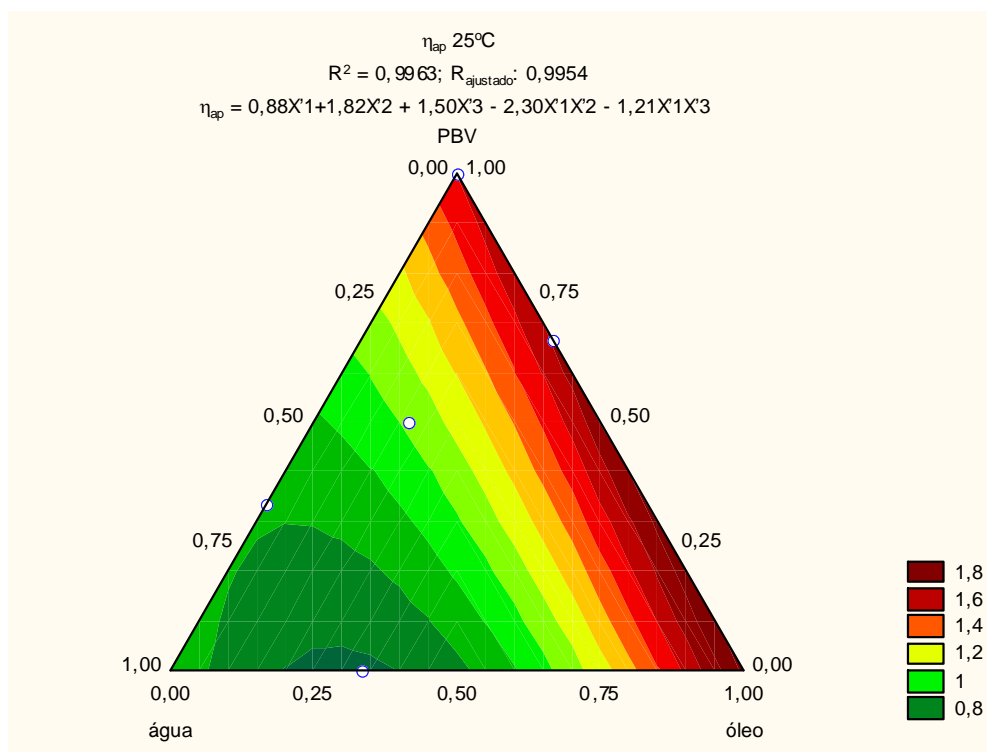


FIGURA 35 – DIAGRAMA TERNÁRIO DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO MODELO QUADRÁTICO RELATIVO À VISCOSIDADE APARENTE (η_{ap}) NA TEMPERATURA DE 25°C



A Tabela 26 mostra a Análise de Variância para os parâmetros reológicos: σ_{OH} , η , K e η_{ap} a 10 e 25°C, ajustados de acordo o modelo quadrático. O valor de F foi significativo para todos os parâmetros e mostrou que o modelo de segunda ordem ajustou bem os dados experimentais. Pelo coeficiente de determinação (R^2) na Tabela 25, verificou-se que todos estiveram acima de 0,9 para todos os parâmetros analisados. A falta de ajuste, que mede o ajuste do modelo utilizado, não foi significativa ($p < 0,05$), indicando que o modelo é suficientemente apurado para prever os parâmetros reológicos.

TABELA 26 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO QUADRÁTICO PARA AS RESPOSTAS: TENSÃO INICIAL (σ_{OH}), COEFICIENTE DE CONSISTÊNCIA (K), ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n) E VISCOSIDADE APARENTE (η_{AP}) A 10 E 25°C.

PARÂMETROS	10°C					25°C				
σ_{OH}	SQ	GL	QM	F	p	SQ	GL	QM	F	p
Modelo	287,49	4	71,87	140,79*	0,00	60,282	4	15,07	66,23*	0,00
Erro Total	8,16	16	0,51			3,64	16	0,23		
Falta de ajuste	0,00	0	0,00			0,00	0	0,00		
Erro puro	8,16	16	0,51			3,64	16	0,23		
Total ajustado	295,66	20	14,78			63,922	20	3,19		
K										
Modelo	788,965	4	197,24	316,66*	0,00	686,34	4	171,58	667,97*	0,00
Erro Total	9,966	16	0,62			4,1100	16	0,26		
Falta de ajuste	0,000	0	0,00			0,000	0	0,00		
Erro puro	9,966	16	0,62			4,1100	16	0,26		
Total ajustado	798,93	20	39,94			690,453	20	34,52		
n										
Modelo	0,01741	4	0,004	223,37*	0,00	0,02452	4	0,006	269,39*	0,00
Erro Total	0,00031	16	0,0002			0,00036	16	0,00002		
Falta de ajuste	0,00000	0	0,00			0,00000	0	0,00000		
Erro puro	0,00031	16	0,00002			0,00036	16	0,00002		
Total ajustado	0,01772	20	0,000886			0,02488	20	0,0012		
η_{ap}										
Modelo	5,1355	4	1,28	999,54*	0,00	2,0986	4	0,524	1091,77*	0,00
Erro Total	0,0205	16	0,0013			0,00769	16	0,0005		
Falta de ajuste	0,000	0	0,000			0,000	0	0,00000		
Erro puro	0,02055	16	0,0013			0,00769	16	0,0005		
Total ajustado	5,1561	20	0,26			2,10632	20	0,1053		

SQ – Soma dos quadrados, GL – Grau de liberdade, QM – Quadrado da média.

HAMINIUK et al. (2006) aplicando MSR para misturas ternárias de polpa de morango, amora e framboesa a 20°C verificaram que para os parâmetros reológicos ajustado pelo modelo de Herschel-Bulkley, o n (índice de comportamento) e o K (coeficiente de consistência), foram melhores representados pelo modelo cúbico especial, e que para a tensão inicial (σ_{OH}) e viscosidade aparente (η_{AP}) o modelo quadrático teve melhor representação. Para a temperatura de 60°C os autores verificaram que somente o (n) foi mais bem ajustado pelo modelo quadrático e os outros parâmetros (K, η_{AP} e σ_{OH}) pelo cúbico especial.

BRANCO e GASPARETTO (2003) aplicaram MSR para estudar o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. Os parâmetros reológicos, ajustados pela Lei da Potência, n e K, nas duas temperaturas, foram melhores ajustados pelos modelos linear e quadrático respectivamente. Já em 2005 os mesmos autores, ajustaram as

curvas das misturas pelo modelo de Casson e verificaram que a tensão inicial e a viscosidade plástica do fluido foram mais bem ajustados com os modelos: quadrático e cúbico respectivamente.

As emulsões ficaram armazenadas em geladeira a 10°C por 15 dias e em seguida foi realizado novamente o comportamento reológico apenas para comparação. Os resultados experimentais encontram-se nos Apêndices 7 e 8.

Verificou-se que as curvas de taxa versus tensão de cisalhamento apresentaram histerese para todas as formulações, conforme as Figuras 36 e 37.

Foram feitos, então, as médias das curvas de crescente e decrescente, porém, ao ajustarem-se os dados aos modelos de Herschel-Bulkley, obtiveram-se valores negativos para a tensão inicial, e o modelo da Lei Potência também não apresentou bom ajuste. A partir disso, escolheu-se apenas uma das curvas para representar o escoamento das emulsões (WORRASINCHAI et al., 2005), a curva decrescente, como mostram as Figuras 38 e 39.

Com as curvas decrescentes obtiveram-se bons ajustes utilizando o modelo de Herschel-Bulkley e os parâmetros ajustados estão nas Tabelas 27 e 28 para 10 e 25°C.

FIGURA 36 – REOGRAMAS EXIBINDO HISTERESE PARA AS FORMULAÇÕES NA TEMPERATURA DE 10°C.

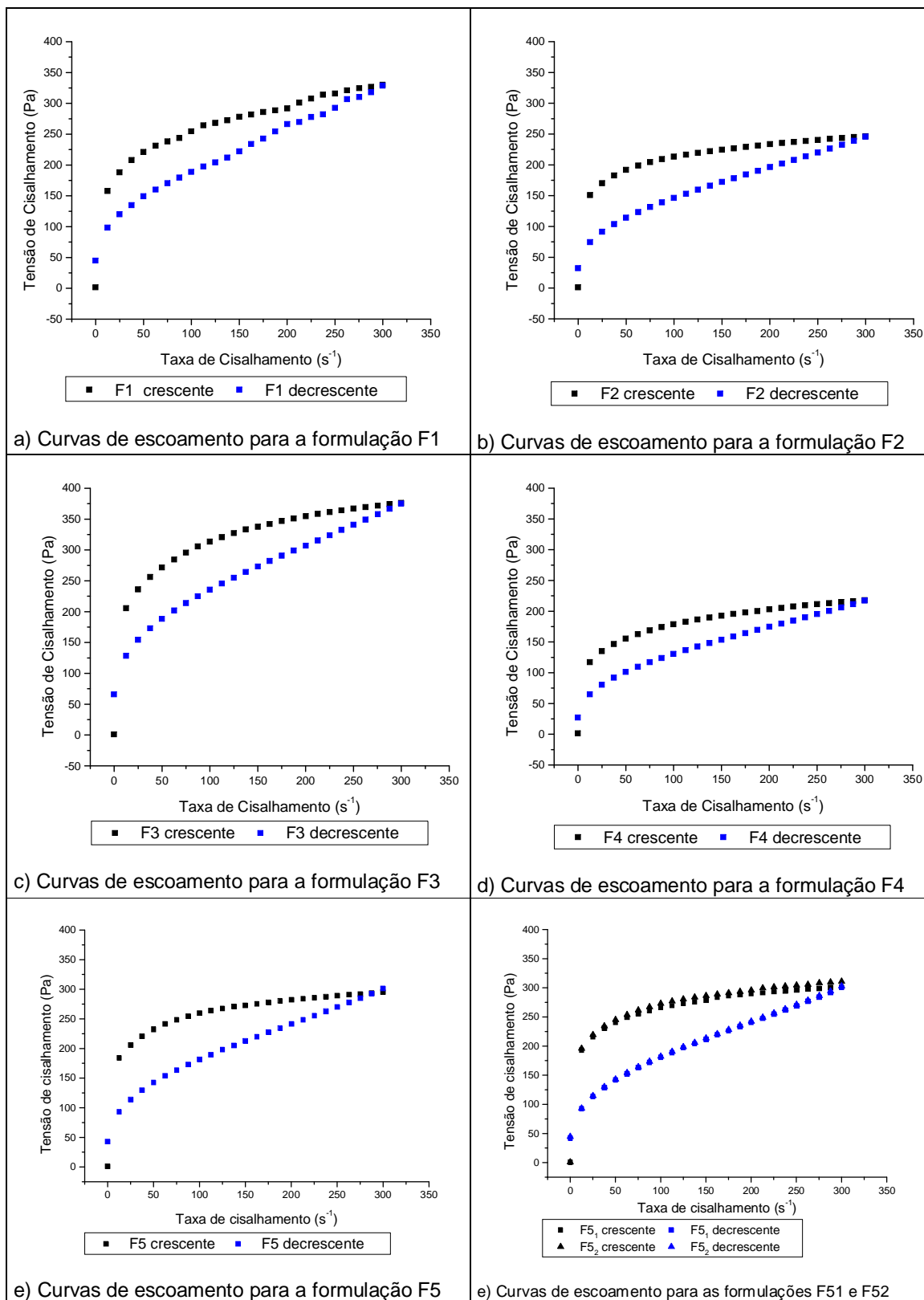


FIGURA 37 – REOGRAMAS EXIBINDO HISTERESE PARA AS FORMULAÇÕES NA TEMPERATURA DE 25°C.

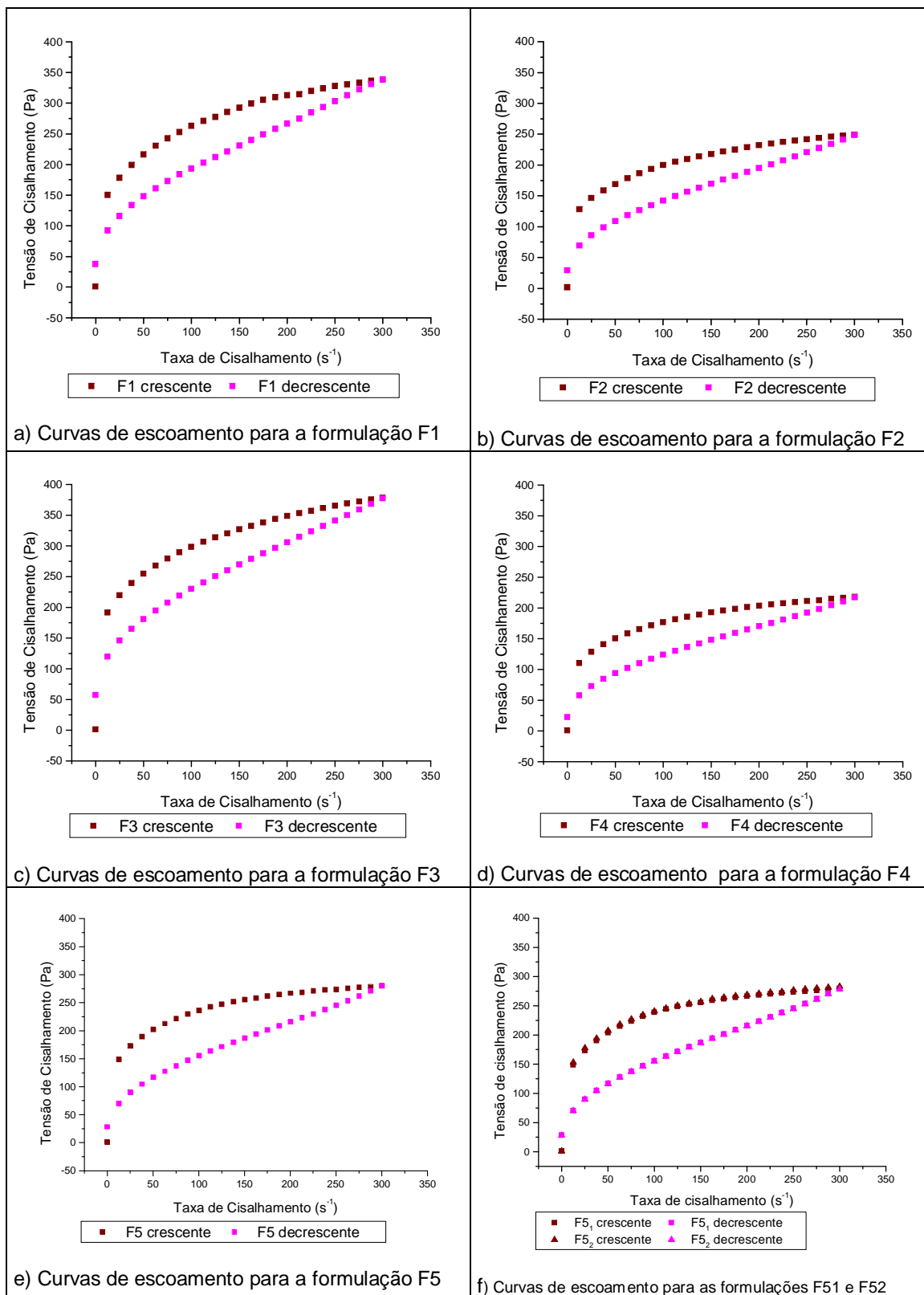
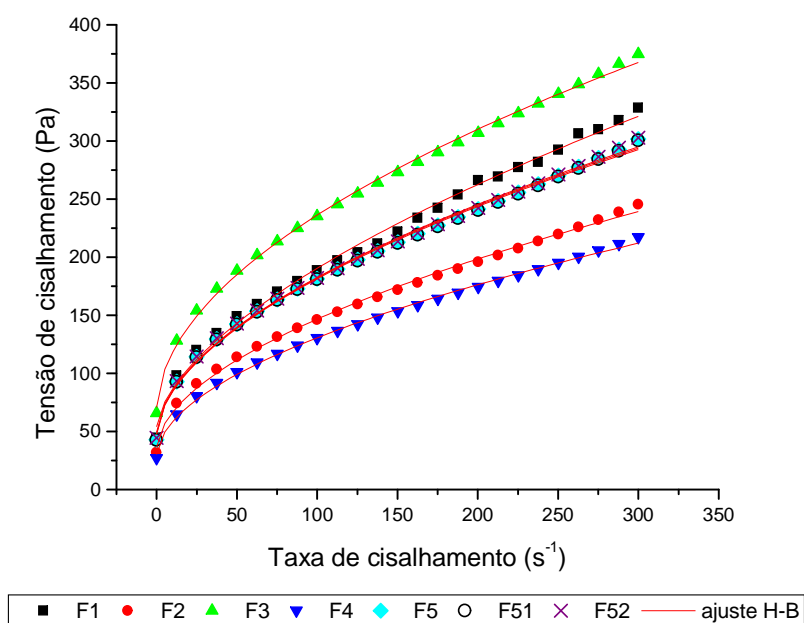
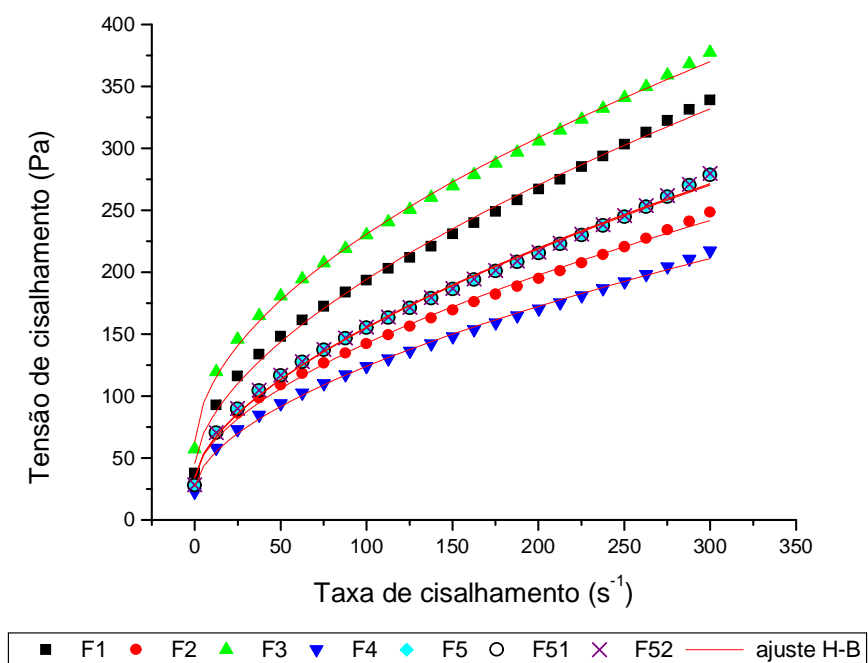


FIGURA 38 – REOGRAMAS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY (H-B) PARA AS FORMULAÇÕES A 10°C



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

FIGURA 39 – REOGRAMAS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY (H-B) PARA AS FORMULAÇÕES A 25°C



Nota: Proporção (água/óleo/PBV): F1 (0,10/0,20/0,70), F2 (0,20/0,20/0,60), F3 (0,10/0,25/0,65), F4 (0,20/0,25/0,55), F5, F5₁ e F5₂ (0,125/0,225/0,625).

TABELA 27 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F5₁ E F5₂), NA TEMPERATURA DE 10°C.

Formulações (água/óleo/PBV)	Tensão inicial σ_{OH} (Pa)	Coefficiente de consistência K (Pa.s ⁿ)	Índice de comportamento n (adimensional)	SQR	R ²	X ²
F1 (0,10/0,20/0,70)	49,07 ± 3,06 a	12,77 ± 0,63 a	0,54 ± 0,01 a	9,635	0,983	12,96
F2 (0,20/0,20/0,60)	35,30 ± 3,12 b	8,84 ± 0,81 d	0,55 ± 0,02 a	3,72	0,983	8,594
F3 (0,10/0,25/0,65)	68,45 ± 6,04 c	14,86 ± 0,76 a	0,53 ± 0,01 a	5,69	0,983	12,49
F4 (0,20/0,25/0,55)	28,83 ± 1,83 b	8,66 ± 0,59 d	0,53 ± 0,08 a	2,94	0,983	5,07
F5 (0,125/0,225/0,625)	46,31 ± 3,08 a	10,96 ± 0,76 c	0,55 ± 0,01 a	4,38	0,983	11,64
F5 ₁ (0,125/0,225/0,625)	45,91 ± 1,19 a	10,98 ± 0,37 c	0,54 ± 0,03 a	4,35	0,983	11,59
F5 ₂ (0,125/0,225/0,625)	47,78 ± 0,52 a	10,61 ± 0,04 c	0,55 ± 0,04 a	4,26	0,983	11,42

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey. SQR – soma do quadrado dos resíduos, R² – coeficiente de correlação, X² – qui-quadrado.

TABELA 28 – PARÂMETROS REOLÓGICOS AJUSTADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY PARA AS CINCO FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F5₁ E F5₂), NA TEMPERATURA DE 25°C.

Formulações (água/óleo/PBV)	Tensão inicial σ_{OH} (Pa)	Coefficiente de consistência K (Pa.s ⁿ)	Índice de comportamento n (adimensional)	SQR	R ²	X ²
F1 (0,10/0,20/0,70)	44,12 ± 2,03 a	9,78 ± 0,69 a	0,59 ± 0,02 a	5,34	0,983	20,52
F2 (0,20/0,20/0,60)	33,53 ± 0,93 b	7,48 ± 0,16 c	0,59 ± 0,01 a	3,22	0,983	9,84
F3 (0,10/0,25/0,65)	60,68 ± 5,68 c	13,88 ± 0,53 a	0,54 ± 0,05 a	4,65	0,983	13,16
F4 (0,20/0,25/0,55)	25,49 ± 1,34 d	6,92 ± 0,26 c	0,58 ± 0,04 a	3,11	0,984	6,69
F5 (0,125/0,225/0,625)	33,02 ± 0,93 b	7,49 ± 0,16 c	0,61 ± 0,01 a	4,15	0,984	13,08
F5 ₁ (0,125/0,225/0,625)	32,38 ± 0,17 b	7,62 ± 0,04 c	0,60 ± 0,03 a	4,09	0,983	12,56
F5 ₂ (0,125/0,225/0,625)	33,01 ± 0,44 b	7,51 ± 0,06 c	0,61 ± 0,05 a	4,01	0,983	12,77

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey. SQR – soma do quadrado dos resíduos, R² – coeficiente de correlação, X² – qui-quadrado.

Pelas Tabelas 27 e 28 verificou-se diminuição na tensão inicial e coeficiente de consistência com o aumento da temperatura.

Comparando-se os dados reológicos obtidos em tempo 0 (zero) das Tabelas 21 e 22, com os dados após armazenamento, observou-se que a tensão inicial foi bem maior após 15 dias para todas as formulações e o coeficiente de consistência, por outro lado, diminuiu com o armazenamento. O comportamento manteve-se pseudoplástico com índice de comportamento menor que um (1) para todas as formulações.

O amido resistente (AR) é encontrado em altas proporções em banana verde e segundo CHAMP, KOZLOWSKI e LECANNU (2001) são do tipo 1 e 2. O tipo 1 representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, fundamentalmente por causa das paredes celulares e proteínas, nos quais o tamanho ou a sua composição impede ou retarda a ação das enzimas digestivas, o tipo 2, por sua vez, refere-se aos grânulos de amido nativo encontrados no interior da célula vegetal, apresentando lenta digestibilidade devido às características intrínsecas das estruturas cristalinas dos seus grânulos (LOBO e LEMOS SILVA, 2003). O tipo 3 consiste em polímeros de amido retrogradado (principalmente de amilose) produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização.

Nesse trabalho, as mudanças ocorridas no comportamento reológico das formulações, após 15 dias de armazenamento, com exibição de histerese nas curvas de fluxo e aumento de tensão inicial poderiam ser justificadas pela presença de amido resistente, que no entanto, não foi analisado. ESCARPA et al. (1997) salientaram que durante o processamento e armazenamento, as mudanças ocorridas na estrutura do amido influenciam profundamente as suas propriedades funcionais e fisiológicas. A quantidade de água, o tempo e a temperatura de armazenamento influenciam o processo de cristalização e afetam diretamente os rendimentos do amido resistente.

MENEZES et al. (1998) evidenciaram um aumento no teor de amido resistente em alimentos armazenados em temperaturas reduzidas (-20 a 5°C) por um período de 24 horas. ROSIN (2000) estudou o efeito do armazenamento de vários alimentos (arroz polido e integral, batata, ervilha, lentilha, macarrão, grão de bico, milho, polenta, feijão e pão francês) em condições de temperatura reduzida (-

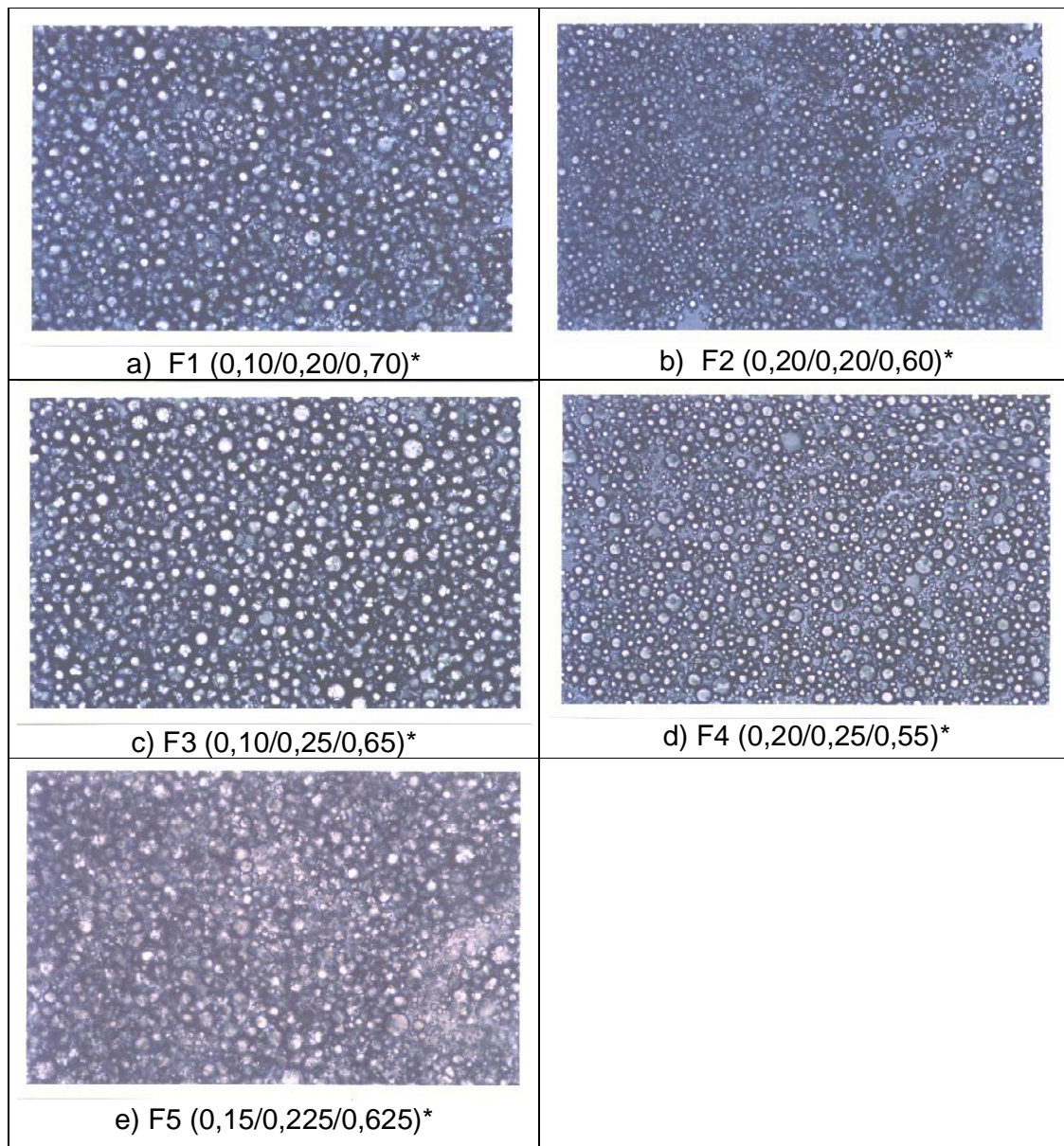
20°C) encontrando aumentos significativos na formação do amido resistente em períodos de 7 e 30 dias.

As formulações com maior teor de polpa e menor teor de água (F1 e F3) apresentaram altos índices de tensão inicial. Observou-se também que a formulação F4, que permaneceu estável após 60 dias de armazenamento, apresentou menor tensão inicial, o que poderia ser explicado pelo seu maior teor de água e de óleo. Neste caso o óleo durante o armazenamento apresenta grande influência na retrogradação do amido. De acordo com SKRABANJA (1998) a interação entre amilose e o lipídios é atribuída à formação de associações por inclusão do lipídio no interior da cadeia de amilose, deixando menos quantidade deste polissacarídeo livre para a formação de pontes de hidrogênio com outras cadeias de amilose, diminuindo a retrogradação.

4.4 ESTABILIDADE

Na Figura 40 verificam-se as microestruturas das emulsões em tempo 0, ou seja, no mesmo dia em que foram preparadas.

FIGURA 40 - MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES NO PRIMEIRO DIA DE PREPARO A UM AUMENTO DE 40X



* proporções de água, óleo de soja e polpa de banana verde respectivamente.

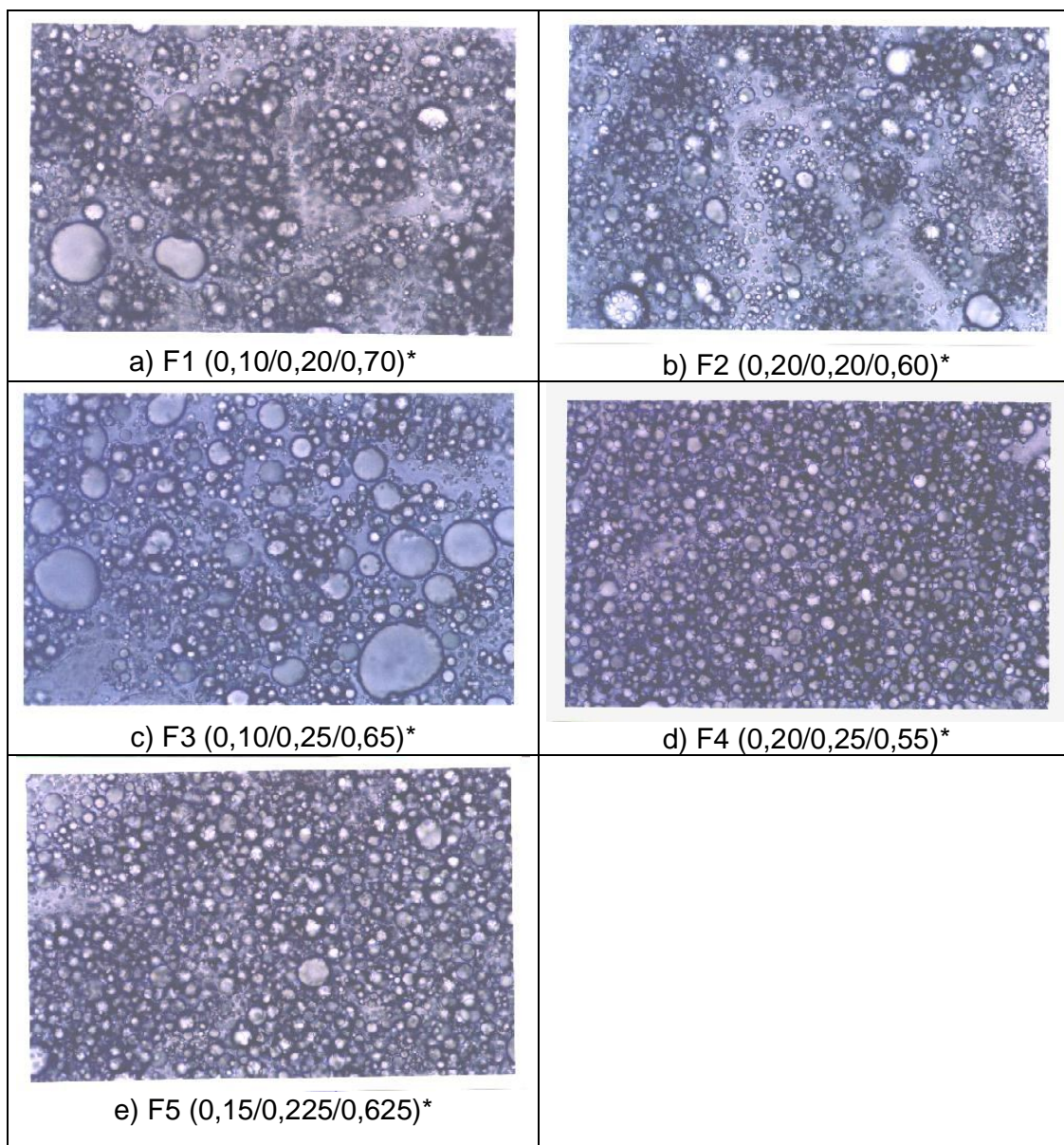
As gotículas correspondem às gotas de óleo e os espaços vazios, segundo WORRASINCHAI et al. (2005) representam a fase contínua, ou seja, a fase aquosa.

Pôde-se verificar, pelos tamanhos das gotas que todas as formulações no primeiro dia apresentavam-se estáveis, pois não houve sinal de coalescência das gotas.

Verificou-se também que as formulações F1 e F3 apresentaram gotas um tanto maiores e mais uniformes que as demais formulações, podendo ser classificadas de acordo com WORRASINCHAI et al. (2005) como emulsões monodispersas (uniformidade no tamanho das gotas), enquanto que a F2, F4 e F5 apresentaram pequena variedade no tamanho das gotas (polidispersas). GUTIERREZ et al. (2002) mencionaram que as emulsões monodispersas apresentaram viscosidade significativamente maior que as emulsões polidispersas, o mesmo foi encontrado neste trabalho através das análises reológicas em que as emulsões F3 e F1 diferiam das demais por apresentarem-se mais viscosas.

Na Figura 41 encontra-se a microestrutura das emulsões após 15 dias de armazenamento em refrigerador a $10\pm 1^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 41 - MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X

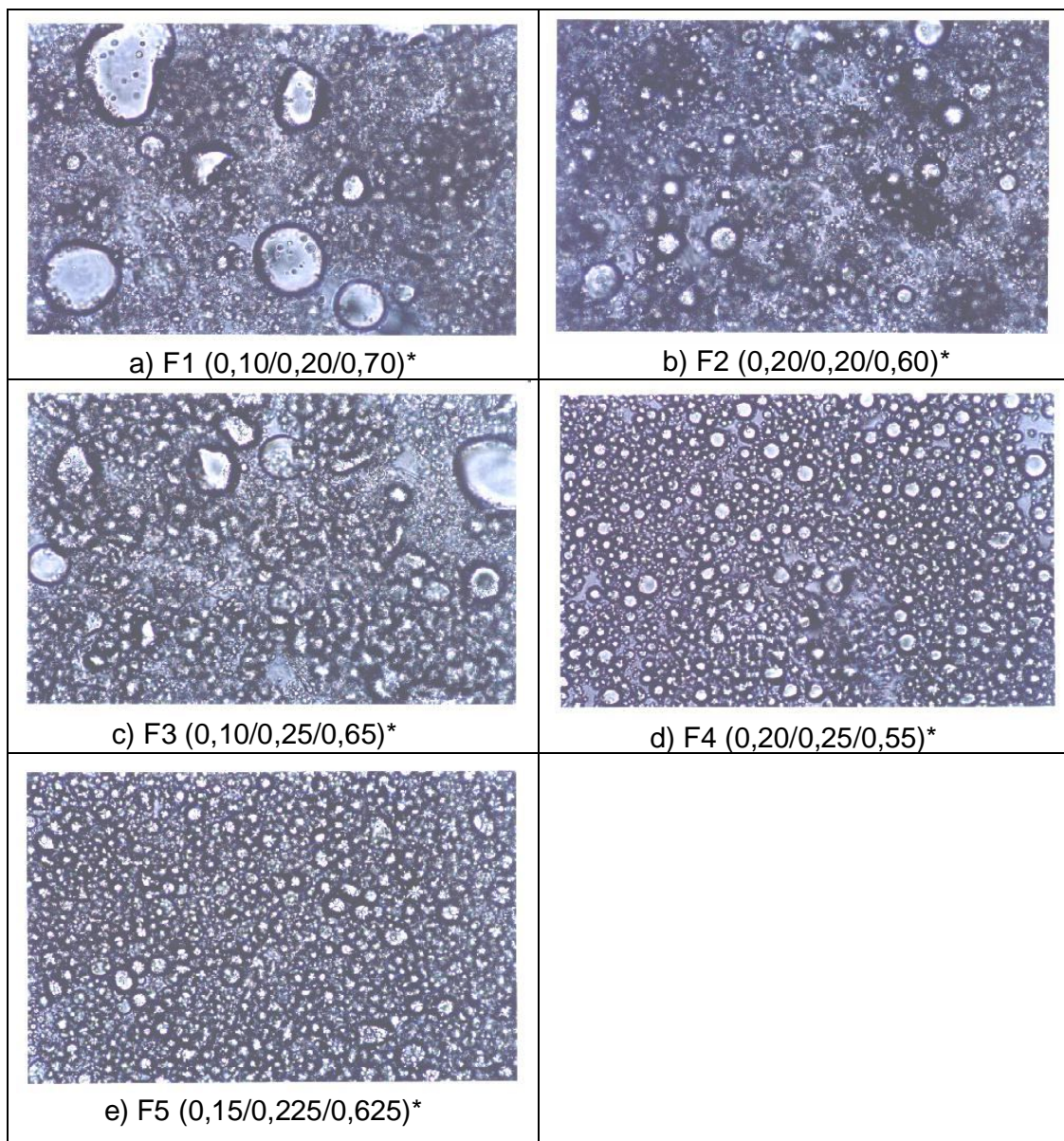


* proporções de água, óleo de soja e polpa de banana verde respectivamente.

Após quinze dias de armazenamento, a olho nu, observou-se que todas as emulsões ainda permaneciam estáveis, porém a um aumento de 40X pôde-se verificar que começaram a surgir gotas maiores provenientes da coalescência nas formulações F3, F1, F2 e levemente na F5, sendo que a F4 não apresentou sinal de coalescência.

Na Figura 42, encontram-se as microestruturas das emulsões após 30 dias de armazenamento em refrigerador a $10\pm 1^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 42 - MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X



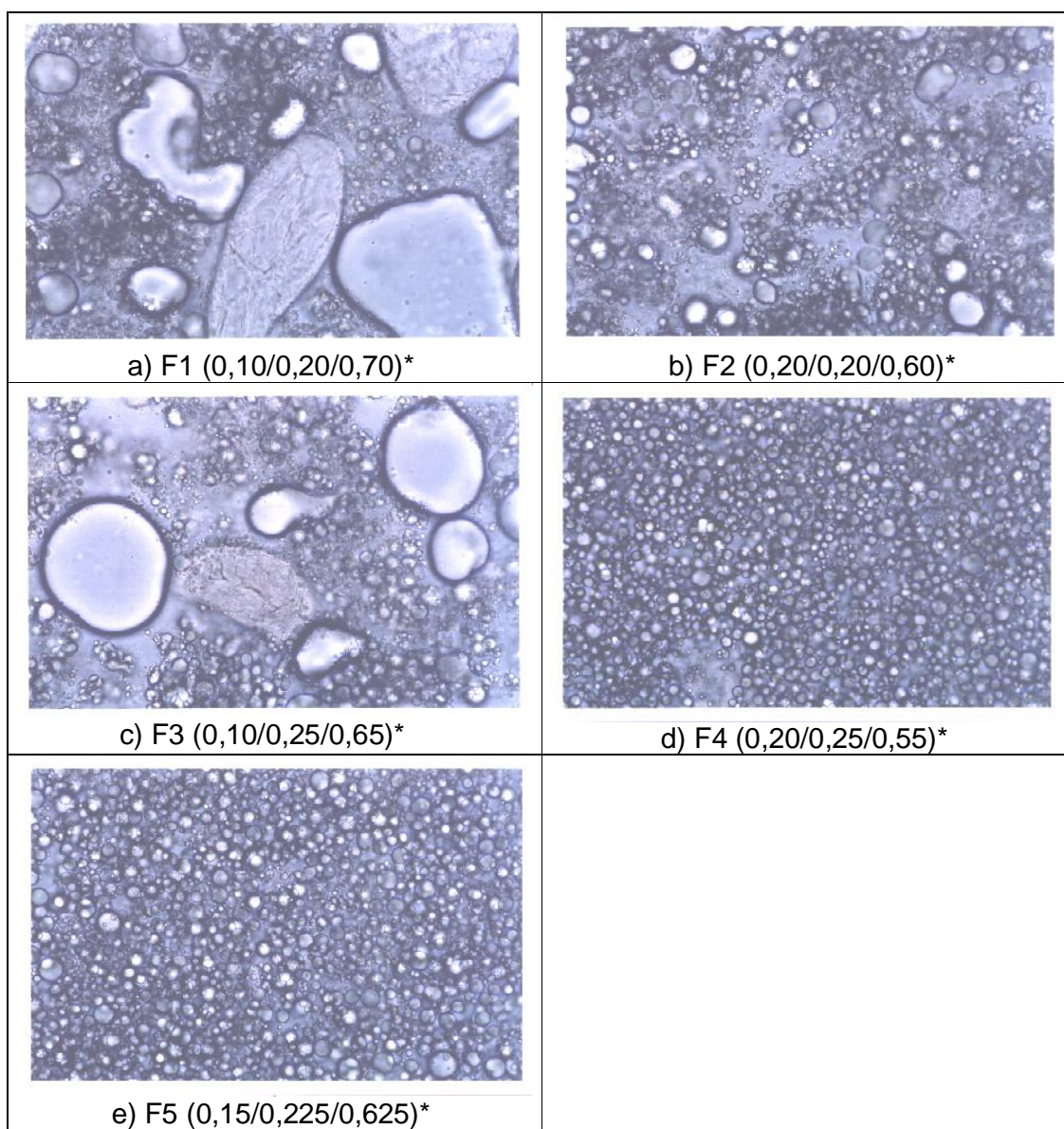
* proporções de água, óleo de soja e polpa de banana verde respectivamente.

Após 30 dias verificou-se que as gotas coalescidas estavam um pouco maiores para as formulações F1 e F3, enquanto que as F2, F4 e F5 permaneceram como anteriormente. Observando as formulações a olho nu foi verificada a

ocorrência de sinerése nas formulações F1 e F3, porém ainda permaneciam estáveis.

Na Figura 43 encontram-se as microestruturas das emulsões após 45 dias de armazenamento em refrigerador a $10\pm 1^{\circ}\text{C}$.

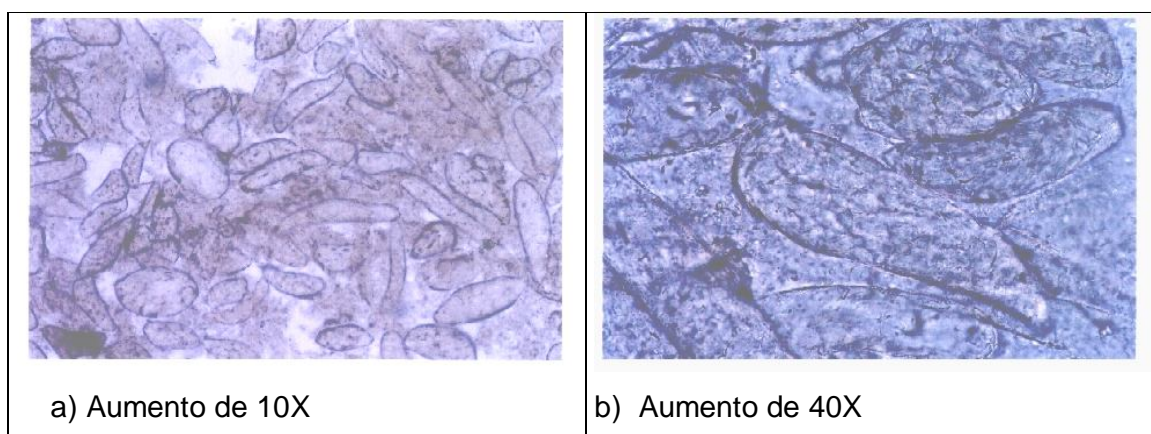
FIGURA 43 - MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X



* proporções de água, óleo de soja e polpa de banana verde respectivamente.

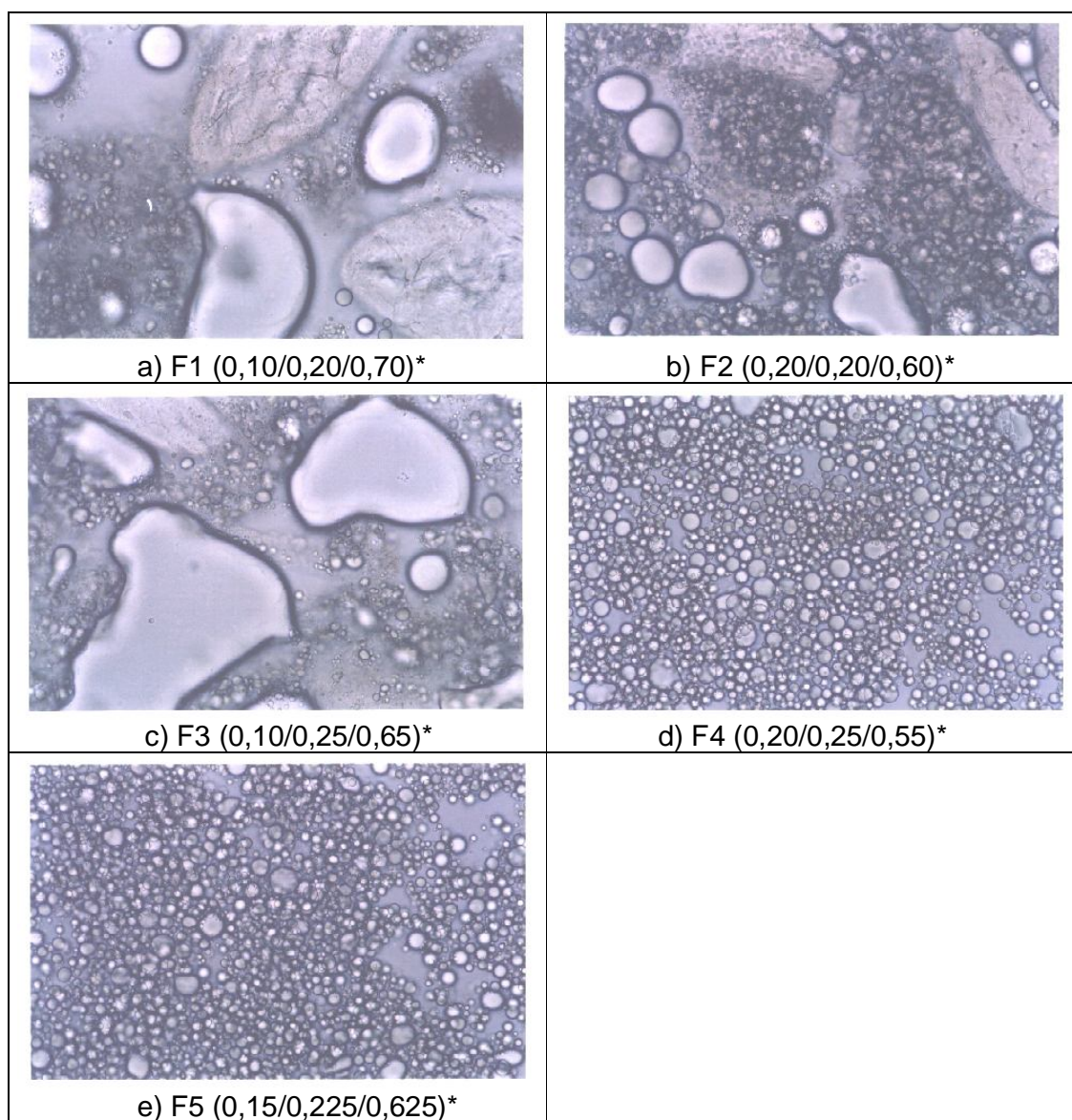
Após 45 dias verificou-se a total instabilidade das formulações F1 e F3, pelo tamanho das gotas formadas, o que foi explicado pela retrogradação ocorrida nessas amostras e expulsão das gotas de água como consequência da sinerese o que levou a instabilidade, porém a olho nu não se verificou separação das fases e sim emulsões altamente viscosas com gotas de água na superfície devido à sinerese. Verificou-se também na fase aquosa a presença das células da polpa de banana, que podem ser comparadas às células mostradas nas microestruturas da polpa na Figura 44.

FIGURA 44 - MICROESTRUTURAS PARA AS CÉLULAS DA BANANA VERDE A UM AUMENTO DE 10X E 40X.



Na Figura 45 encontram-se as microestruturas das emulsões após 60 dias de armazenamento em refrigerador a $10\pm 1^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 45 - MICROESTRUTURAS PARA AS CINCO FORMULAÇÕES, APÓS 60 DIAS DE ARMAZENAMENTO A UM AUMENTO DE 40X



* proporções de água, óleo de soja e polpa de banana verde respectivamente.

As microestruturas das formulações F1 e F3 foram colocadas apenas para comparação após 60 dias, já que há 45 dias verificou-se a total instabilidade das emulsões. Verificou-se que após dois meses as formulações F5 e a F4 permaneceram estáveis e cremosas a olho nu, já a F2 apesar de levemente cremosa, a olho nu, apresentou notáveis sinais de coalescência e com conseqüente instabilidade.

Em maioneses adicionadas de β -glucana como substituto de gordura, WORRASINCHAI et al. (2005) observaram que a formulação controle (sem β -glucana) apresentou o tamanho das gotas maiores e uniformes (monodispersa) ao passo que a formulação com 25% de β -glucana apresentou-se polidispersa em que pequenas gotas estavam entre as grandes. Já as formulações com 50 e 75% apresentaram um grande espaço de vazios entre as gotas, sendo a com 75% (menor concentração de óleo) apresentou o maior espaço de vazios e a com 50% apresentou a menor média para o tamanho das gotas, o que mostrou neste caso que 50% do polissacarídeo (β -glucana) forneceu maior estabilidade à emulsão.

No presente trabalho, as emulsões mais estáveis foram as formulações F4 com 55% de polpa de banana verde, 20% de água e 25% de óleo de soja e a formulação F5 com 62,5% de polpa de banana verde, 15% de água e 22,5% de óleo de soja.

4.5 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

Na Tabela 29 estão apresentados os valores dos parâmetros de cor para as amostras das emulsões e da polpa de banana verde

TABELA 29 - VALORES DOS PARÂMETROS DE COR DA POLPA DE BANANA VERDE E DAS EMULSÕES

AMOSTRAS (água/óleo/PBV)	L*	a*	b*
Polpa de banana verde (PBV)	69,42 ± 0,49 a	1,30 ± 0,26 a	31,63 ± 0,63 a
F1 (0,10/0,20/0,70)	83,93 ± 0,54 b	1,22 ± 0,04 ab	14,87 ± 0,07 b
F2 (0,20/0,20/0,60)	89,40 ± 0,21 c	0,95 ± 0,03 bc	13,45 ± 0,04 c
F3 (0,10/0,25/0,65)	86,29 ± 0,07 d	1,27 ± 0,01 a	14,77 ± 0,08 b
F4 (0,20/0,25/0,55)	93,17 ± 0,23 e	0,75 ± 0,02 c	12,68 ± 0,03 c
F5 (0,15/0,225/0,625)	90,40 ± 0,83 c	0,88 ± 0,06 c	13,34 ± 0,86 c

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey. L* (luminosidade), a* (croma verde-vermelho), b* (croma azul-amarelo)

Pôde-se verificar pela Tabela 29, que a cor da polpa de banana verde influenciou a cor de todas as formulações de emulsões. Quanto maior a proporção de polpa, maiores os valores de a* e b* e menores os valores de L*. A polpa teve o menor valor para a luminosidade (L*) e os maiores valores de a* e b*, o que indica que a polpa apresentou as cores verde e amarela mais intensa e é mais escura comparada a todas as formulações.

Verificou-se que as formulações com menor teor de polpa (F2, F4 e F5) apresentaram o valor de luminosidade (L*) maiores do que para as outras formulações, o contrário ocorrendo para as formulações com maior teor de polpa (F3 e F1). De acordo com WORRASINCHAI et al. (2005) a luminosidade tem um grande impacto na aparência de maionese. CHANTRAPORNCHAI, CLYDESDALE e MCCLEMENTS (1999) e MCCLEMENTS e DEMETRIADES (1998) encontraram que emulsões mudam de uma cor levemente cinza (mais escura) para uma cor mais clara e branca a medida que o tamanho das gotas diminuem devido a um aumento na dispersão da luz. No presente trabalho, não foi avaliado o tamanho das gotas e sim foi verificada a estabilidade pela observação do tamanho das gotas com o

tempo, apesar disso os resultados estão em concordância com os autores citados, pois as emulsões que permaneceram estáveis por maior tempo (apresentaram o menor tamanho das gotas) foram aquelas que apresentam maior luminosidade (F4 e F5).

Com relação aos parâmetros a^* e b^* as formulações com maior teor de polpa de banana verde (F1 e F3) obtiveram os maiores valores para ambos os parâmetros, que apesar de apresentarem-se bem claras, ficaram levemente mais amarelas e verdes que as demais devido ao conteúdo de polpa.

Na Tabela 30 encontra-se a diferença total de cor (ΔE^*) entre emulsões e a polpa de banana verde (ΔE^*_{1}) e entre as emulsões e a maionese comercial tradicional (ΔE^*_{2}).

TABELA 30 - DIFERENÇA TOTAL DE COR (ΔE^*) ENTRE EMULSÕES E A POLPA DE BANANA VERDE (ΔE^*_{1}) E ENTRE AS EMULSÕES E A MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL (ΔE^*_{2}).

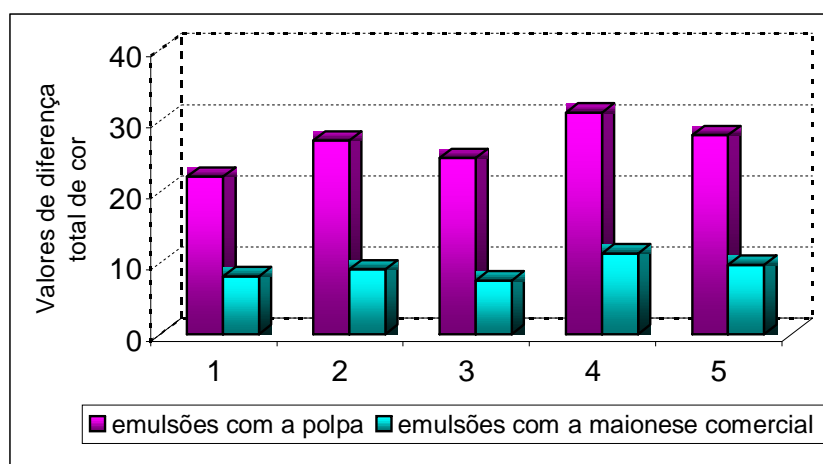
Emulsões (água/óleo/PBV)	ΔE^*_{1}	ΔE^*_{2}
F1 (0,10/0,20/0,70)	22,18 \pm 0,39 a	8,13 \pm 0,43 a
F2 (0,20/0,20/0,60)	27, 24 \pm 0,83 bc	9,12 \pm 0,11 b
F3 (0,10/0,25/0,65)	24,80 \pm 0,69 ac	7,54 \pm 0,08 a
F4 (0,20/0,25/0,55)	31,18 \pm 1,98 d	11,34 \pm 0,11 c
F5 (0,15/0,225/0,625)	28,00 \pm 1,20 b	9,75 \pm 0,59 b

Médias \pm desvio padrão seguidas da mesma letra em cada coluna, são significativamente iguais pelo teste de Tukey.

Pelos resultados expressos na Tabela 30 verificou-se que o ΔE^*_{1} , que é a diferença total de cor entre as emulsões e a polpa de banana verde, foi bem maior para todas as formulações que o ΔE^*_{2} (diferença total de cor entre as emulsões e a maionese tradicional), mostrando que as amostras aproximaram-se mais da cor da maionese comercial tradicional que da polpa de banana verde. Essa diferença pode ser observada na Figura 46 em que está representada em gráfico de barras a comparação entre os valores de diferença total de cor (ΔE^*).

As formulações F1, F2, F3 e F5 foram as que mais se aproximaram da cor tanto da maionese comercial como da polpa de banana verde, o que indica que também a cor da PBV é similar à maionese comercial.

FIGURA 46 – DIFERENÇA TOTAL DE COR (ΔE^*) ENTRE AS EMULSÕES E A POLPA DE BANANA VERDE E ENTRE AS EMULSÕES E A MAIONESE COMERCIAL TRADICIONAL



Nota: 1 – F1, 2 – F2, 3 – F3, 4 – F4, 5 – F5

Pela avaliação de cor foi verificado que as melhores formulações em termos de coloração foram as amostras F1 e F3 (com 70 e 65% de PBV respectivamente) pois apresentaram-se mais próximas a coloração da maionese comercial precedidas das formulações F5 e F2 (com 62,5 e 60% de PBV respectivamente), a amostra F4 (55% de PBV), por outro lado, afastou-se da diferença total de cor tanto da polpa de banana verde como da maionese comercial tradicional.

4.6 AVALIAÇÃO SENSORIAL

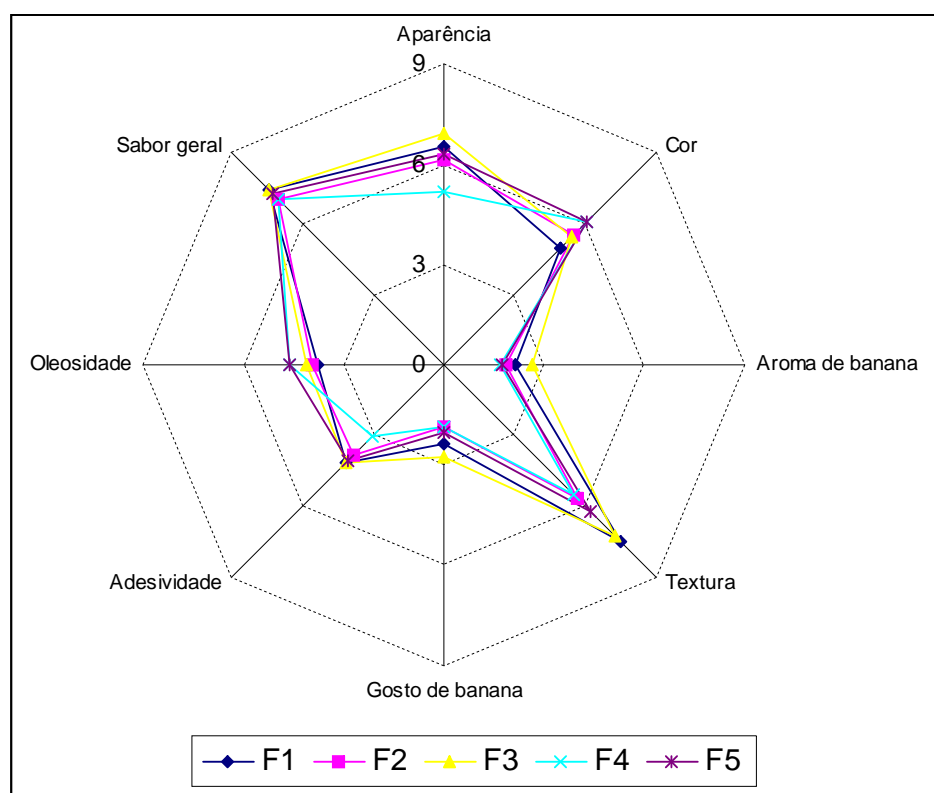
Os resultados da análise sensorial das emulsões adicionada de polpa de banana verde para a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) encontram-se na Tabela 31 onde se pode perceber pelo teste de comparação de Tukey a diferença entre cada formulação com relação os atributos e no gráfico da Figura 47 estão comparadas todas as formulações.

TABELA 31 – MÉDIAS PARA TODAS A FORMULAÇÕES NO TESTE DE ADQ

Formulações (aguar/óleo/PBV)	Aparência	Cor	Aroma de banana	Textura	Gosto de banana	Adesividade	Oleosidade	Sabor geral
F1(0,10/0,20/0,70)	6,50 ab	4,92 a	2,14 ab	7,49 a	2,37 ab	4,17 a	3,78 a	7,39 a
F2(0,20/0,20/0,60)	6,15 b	5,52 bc	1,86 b	5,62 bc	1,85 c	3,82 a	3,96 ab	6,98 a
F3(0,10/0,25/0,65)	6,91 a	5,42 ab	2,63 a	7,26 a	2,74 a	4,13 a	4,10 ab	7,44 a
F4(0,20/0,25/0,55)	5,15 c	6,09 c	1,70 b	5,54 c	1,83 c	3,02 b	4,62 b	6,95 a
F5(0,15/0,225/0,625)	6,31 ab	6,00 c	1,74 b	6,23 b	2,02 bc	4,06 a	4,61 b	7,19 a

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna são significativamente iguais pelo teste de Tukey.

FIGURA 47 – GRÁFICO ARANHA PARA A REPRESENTAÇÃO DAS MÉDIAS DO TESTE DE ADQ



A aparência das formulações foi significativamente afetada pela textura das amostras, o que está correlacionado ao conteúdo de polpa de banana verde. As mais viscosas como F3, F1 e F5 obtiveram as maiores médias para este atributo. Já as formulações F2 e F4 apresentaram os menores valores, pois eram as menos viscosas, porém, apenas a F4 foi estatisticamente diferente das demais.

A cor para as amostras F4 e F5 foi avaliada como mais clara que F2, F3 e F1, confirmando a influência da polpa de banana verde nas características das emulsões, já que as formulações com maior quantidade de PBV apresentaram as menores notas para este atributo, como F1 e F3, ou seja, foram consideradas, mais escuras, ou mais próximas a coloração da polpa de banana verde. Os avaliadores encontraram o mesmo resultado percebido pela análise instrumental de cor no item 4.5, no qual as formulações F4 e F5 apresentaram-se mais luminosas que as demais.

KARAS, SKVARCA e ZENDLER (2002) avaliando as características sensoriais de maioneses tradicionais e *light*, verificaram que as amostras com menor teor de gordura foram classificadas como as mais pálidas, o que foi atribuído aos agentes estabilizantes presentes nas maioneses *light*, como amidos modificados. Nesse trabalho o agente estabilizante (polpa) também influenciou na cor, porém por apresentar coloração mais escura teve efeito contrário ao encontrado pelos autores.

O odor e gosto de banana foram significativamente influenciados pela PBV, mesmo assim, considerando uma escala de 9 pontos, todas as notas para estes atributos podem ser consideradas baixas (pois para todas as formulações foram menores que 3,0), indicando que a PBV é praticamente sem o odor e sem o sabor característico de banana.

Não houve diferença estatística entre as amostras F1 e F3 relacionada à textura, essas formulações foram consideradas mais consistentes que F5, F2 e F4 respectivamente, justamente pelo maior conteúdo de polpa nessas amostras.

De acordo com WORRASINCHAI et al. (2005) o atributo textura é dificilmente correlacionado com os dados derivados de análise instrumentais usando texturômetro ou reômetro, entretanto, neste trabalho os dados obtidos pelos julgadores foram similares ao obtidos na análise reológica, em que as formulações com maior conteúdo de PBV (F1 e F3) apresentaram maior viscosidade.

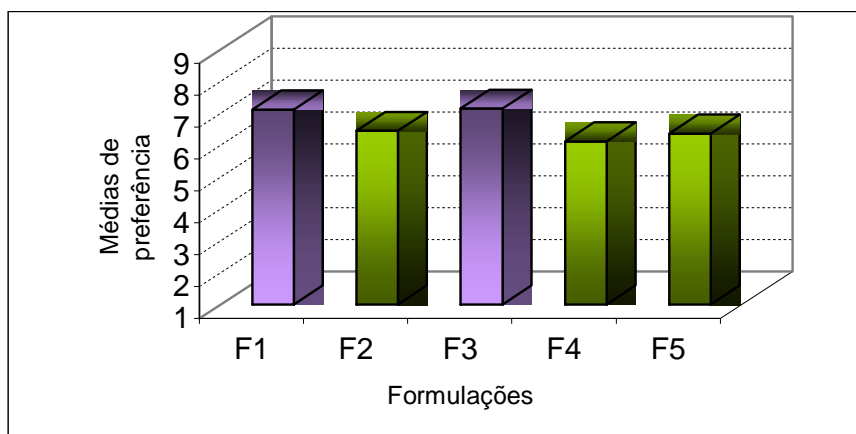
Relacionado à adesividade pôde ser percebido que a força requerida para remover as amostras dos molares aumenta com o aumento da polpa de banana verde em cada formulação, porém, somente a F4 (que apresenta o menor conteúdo de polpa) apresentou a menor média para adesividade e foi estatisticamente diferente das demais.

Já para oleosidade, as amostras com maior teor de óleo de soja (F3, F4 e F5), apresentaram-se como as mais oleosas (com maior resíduo de óleo na superfície bucal)

As amostras não apresentaram diferença significativa para o sabor geral e as médias para as cinco formulações apresentaram-se na faixa de 6,95 a 7,44 o que indica que todas as emulsões obtiveram boa aceitação pelos julgadores.

A representação das médias, variando de 1 a 9, na escala de desgostei muitíssimo a gostei muitíssimo, para o teste de preferência pela escala hedônica está na Figura 48.

FIGURA 48 – MÉDIAS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES DE ACORDO COM A ESCALA HEDÔNICA

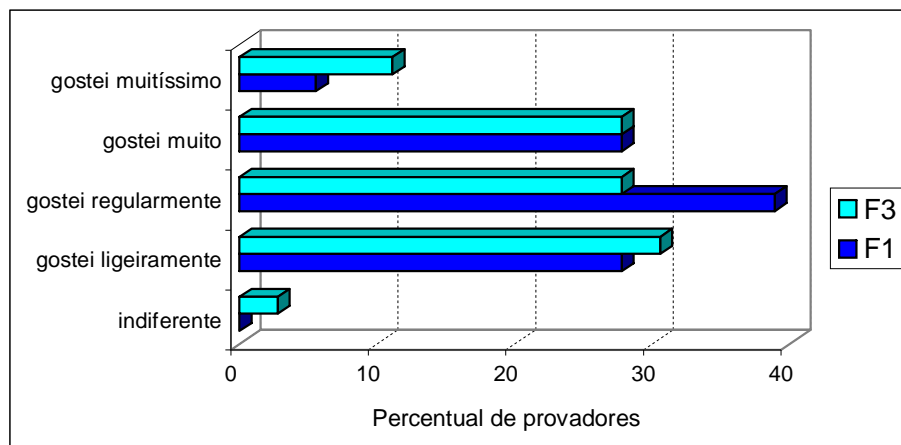


Nota: As barras de cores diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey.

Verificou-se que as notas estiveram entre 6,11 para a F4 (menos preferida) e 7,14 para a F3, sendo a F3 a mais preferida pelos julgadores, embora a F1 ter tido nota de 7,11 não diferindo estatisticamente da F3.

As formulações F1 e F3 foram iguais estatisticamente e significativamente diferentes das demais em termos de preferência pela escala hedônica e a Figura 49 mostra a relação entre ambas as amostras em termos de gostar e desgostar em percentual dos julgadores.

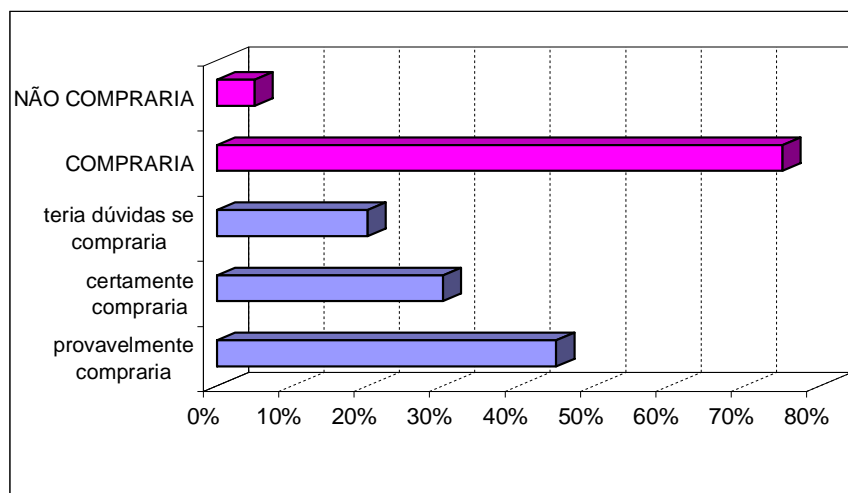
FIGURA 49 – DIFERENÇA ENTRE F1 E F3 COM RELAÇÃO À PREFERENCIA DOS CONSUMIDORES PELA ESCALA HEDÔNICA



Pela Figura 49 percebeu-se que o percentual de julgadores que gostou muitíssimo foi maior para a amostra F3 que para a amostra F1 e que o percentual que gostou regularmente foi maior para F1 que para a formulação F3, confirmando a preferência dos julgadores pela emulsão F3.

Para intenção de compra, 45% dos julgadores provavelmente comprariam o produto, 30% certamente comprariam, 20% teriam dúvidas se comprariam ou não comprariam e 5% provavelmente não comprariam o produto, ou seja, 75% comprariam o produto, conforme está representado na Figura 50, o que indica que a emulsão estabilizada com polpa de banana verde foi bem aceita pelos provadores.

FIGURA 50 – INTENÇÃO DE COMPRA DA MAIONESE COM PBV DOS PROVADORES



BORGES (2003) trabalhando com pão e nhoque, adicionados de polpa de verde encontrou que todas as médias da escala hedônica foram ao nível de gostar ligeiramente e também que um contínuo estudo sobre o produto resultaria em melhores formulações. Já para o suco de manga com polpa de banana verde foi caracterizado, segundo TAIPINA et al. (2004), como espesso, doce e levemente adstringente.

5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no presente trabalho pôde ser concluído que:

- As emulsões formuladas com polpa de banana verde apresentaram valor calórico muito menor que uma maionese comercial com baixo teor de gordura, além de altos valores para potássio, ferro, fósforo, cálcio e magnésio o que mostra a influência da polpa no valor nutritivo das emulsões.
- Todas as amostras, independente da temperatura, apresentaram comportamento não-Newtoniano pseudoplástico, devido ao valor do índice de comportamento para todas as formulações ter sido menor que um (1). O modelo de Herschel-Bulkley foi que melhor ajustou os dados experimentais para ambas as temperaturas.
- A viscosidade aparente, calculada a partir do ajuste dos reogramas ao modelo de Herschel-Bulkley, diminuiu com o aumento da taxa de cisalhamento e temperatura para todas as amostras.
- Os parâmetros reológicos da tensão inicial (σ_{OH}), índice de comportamento (n), coeficiente de consistência (K) e viscosidade aparente (η_{ap}), foram influenciados pela temperatura apresentando um decréscimo com o aumento da temperatura de 10 para 25°C.
- As formulações com maior quantidade de polpa de banana verde, 70 e 65% respectivamente, (F1 e F3) foram as que apresentaram maior tensão de cisalhamento, maior viscosidade aparente e tensão inicial com comportamento reológico similar a maionese tradicional.
- Pela Metodologia de Superfície de Resposta foi verificado que a polpa de banana verde influenciou significativamente no aumento da tensão inicial (σ_{OH}) e viscosidade aparente (η_{ap}), enquanto que o óleo, além de aumentar a viscosidade aparente, aumentou o coeficiente de consistência (K) das amostras. A água, por outro lado, contribuiu para o aumento do índice de comportamento (n), sendo todas as repostas melhor representadas pelo modelo quadrático.
- Os maiores valores para tensão inicial (σ_{OH}), a 10 e 25°C, corresponderam à formulação F1 onde se encontrava 70% de PBV, 10% de água e 20% de óleo de

soja. Os maiores valores para viscosidade aparente (η_{ap}) e coeficiente de consistência (K) foram encontrados para a formulação F3 composta por 65% de PBV, 10% de água e 25% de óleo de soja. Com relação ao índice de comportamento (n) os maiores valores foram para a formulação F4 que contém 55% de PBV, 25% de óleo de soja e 20% de água.

- Após 15 dias de armazenamento as formulações apresentaram comportamento não-Newtoniano pseudoplástico, com altos valores de tensão inicial, comparadas às formulações analisadas no primeiro dia de preparo.
- As emulsões que permaneceram estáveis mesmo após 60 dias de armazenamento foram as formulações F4 com 55% de polpa de banana verde, 20% de água e 25% de óleo de soja e a formulação F5 com 62,5% de polpa de banana verde, 15% de água e 22,5% de óleo de soja.
- As amostras F1 e F3 (com 70 e 65% de PBV respectivamente) apresentaram-se mais próximas à coloração da maionese comercial precedidas das formulações F5 e F2 (com 62,5 e 60% de PBV respectivamente).
- Não houve diferença significativa entre as cinco formulações para o sabor geral, sendo que todas foram consideradas aceitas pelo consumidor.
- A formulação F3, com maior teor de polpa e óleo soja e menor quantidade de água, foi a preferida pelos julgadores no teste de preferência pela Escala Hedônica;
- Pela atitude de compra verificou-se que 75% dos provadores comprariam as emulsões, o que indica a aceitação do novo produto formulado com polpa de banana verde.

A partir dos resultados obtidos constatou-se que a polpa de banana verde apresentou influência positiva na composição físico-química, reológica e sensorial das emulsões principalmente nas proporções de 65% e 70% de polpa (formulações F1 e F3 respectivamente), podendo ainda ser utilizada como agente estabilizante das emulsões, porém nas menores proporções de polpa, já que as formulações F4 e F5 (com 55% e 62,5% de polpa apresentaram os melhores resultados)

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Quantificar o amido resistente na polpa cozida de banana verde e nas emulsões;
- Avaliar a vida-de-prateleira das formulações;
- Verificar o uso de aditivos nas formulações como conservantes e flavorizantes;
- Realizar uma análise microbiológica nas formulações e na polpa de banana verde em diferentes períodos;
- Verificar a aplicação de ultra-som nas formulações que apresentaram menos tempo de estabilidade;

REFERÊNCIAS

ABU-JDAYIL, B. AL-MALAH, K. e ASOUD, H. Rheological characterization of milled sesame. **Food Hydrocolloids**, v.16(1), p.55-61, 2002.

ABERC - Associação Brasileira das Empresas de Refeições Coletivas. Disponível em: http://www.aberc.com.br/noticias_ Acesso em: 02 jun.2005.

ABNT - **Análise sensorial dos alimentos e bebidas**. Terminologia: NBR 12806. Rio de Janeiro. 8p. 1993.

AGRIANUAL 2003. Banana. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. p. 229-234, 2003.

AHMED, J. Rheological behaviour and colour changes of ginger paste during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p.325-330, 2004.

ALMEIDA, C.O. de; SOUZA, J. S.; CORDEIRO, Z.J.M. Aspectos Econômicos. In: MATSUURA, F.C. A.U.; FOLEGATTI, M.I.S. (Ed.) **Banana. Pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 71p. (Frutas do Brasil, 16), 2001.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg, 2000.

ARTEAGA, G.E; LI-CHAN, E; VAZQUEZ-ARTEAGA, M. C; NAKAI, S. Systematic experimental designs for product formula optimization. (Review). **Trends in Food Science and Technology**, v.5, p. 243-253, 1994.

ARRUDA, A. Banana para dar e vender! Heloísa de Freitas Valle revela que a fruta nacional tem muito mais utilidades do que a gastronômica; **Folha de São Paulo**, 22 de maio de 2002.

ASPARLAN, M., HAITA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses/tahin) (sesame paste blends). **Journal of Food Engineering**, v. 54, p. 89-93, 2002.

BACETTI, L. B. Estudo sobre produção de banana verde frita a partir da variedade Nanicão (*Musa cavendishii* Lamb). Faculdade de Engenharia de Alimentos USP. São Paulo, 1993. 97p. **Dissertação de mestrado**.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. e PELEG, M. Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. **Journal of Texture Studies**, v. 14, p.213-234.1983.

BATISTA A. P., RAYMUNDO A., SOUSA I., e EMPIS J. Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. **Food Hydrocolloids**. v.20, p.44–52, 2006.

BATISTA FILHO, A., FRAGA, A. D. Ciclo de palestras sobre a cultura da banana. **Anais**. Instituto biológico. Campinas. 1994. 70p.

BECHER, PAUL, **Emulsiones Teoria Y Prática**, Editorial Blume, Madris, 1972.

BIANCHI, J. Banana verde, uma trajetória gastronômica. **Jornal Valor**, D6, 3 abr., 2002.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de Transporte** Editorial Reverté, S.A.; 1960.

BOBBIO, PAULO A. **Química do processamento de alimentos**. 2ª Edição, Editora Varela, São Paulo, 1995.

BORGES, M.T.M.R. Potencial vitamínico de banana verde e produtos derivados. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia (FEA). Campinas-SP. 2003. **Tese de doutorado**.

BORGES, M.T.M.R., DIAS N.G., FREITAS, M. C. J., GREGÓRIO, S. R., SILVA, M.A.A. P. Análise Descritiva Quantitativa e a Aceitação de bananas-passas (*musa cavendishii lamb*). **Anais de resumos** do II SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE CIENCIA DE ALIMENTOS. p.177 (326), 1997.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, p. 324, 1982.

BOURNE, M. in Food texture: perception and measurement. Report of an international workshop held at conference center “de Wageningse Berg” Wageningen, the Netherlands, 28 November – 1 December 1999. **Food Quality Preference Report of the Discussion Session II**, v.13, n.4, p. 237-255, junho, 2002.

BOX, G. E. P. e DRAPER, N. R. **Empirical model-building and response surface**. New-York: John Wiley, 1978.

BRAGA NETO, J. A. Desenvolvimento de produto alimentar assistido por computador: uma sistematização interativa pela aplicação combinada de métodos para planejamento, modelagem, análise e otimização na formulação de pudim. Departamento de tecnologia de alimentos e medicamentos, Universidade Estadual de Londrina. 1998. **Tese de doutorado**.

BRANCO, I. G., GASPARETTO C. A. aplicação de metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 166-171, 2003.

BRANCO, I. G., GASPARETTO C. A. Comportamento Reológico de Misturas de Polpa de Manga e Sucos de Laranja e Cenoura Utilizando Modelo de Casson. **Brazilian Journal of Food Technology**. v 8. n. 2. p 183-189, 2005.

BRUNO, A. C., BORGES, M.T.M.R. Definição e análise de fibras alimentares presentes em casca de banana. **Anais de resumos**, V CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA da UFSCar. São Carlos, SP. p.205, 1997.

CAMPANELLA, O. H. e PELEG, M. Determination of the yield stress of semi-liquid foods from squeezing flow data. **Journal of Food Science**, v.52 n.2, p.14-17, 1987.

CARNEIRO, J. C. S., MINIM, V. P. R., SOUZA JR, M. M. de. Sensory profile and acceptability of cultivars of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Jan./Mar. 2005, v.25, n.1, p.18-24. ISSN 0101-2061.

CARVALHO FILHO, C. D. e MASSAGUER, P. R. Processamento térmico de purê de banana (*Musa cavendishii* Lamb) em embalagens flexíveis esterilizáveis. **Ciência e tecnologia de alimentos**. v.17, n.3, p.213-218, 1997.

CARSON, E. M. **Functional properties of banana starch**, 1971, In Tese (Masters of Science).Garcia, E.; Lajolo, FM.Starch tranformation during banana ripening: the amylase and glucosidade behavior. J .Food Sci., v.53, n. 4, p.1181-1186, 1998.

CASSON, N. **A flow equation for pigment-oil suspensions of the priting ink type, in Rheology of Disperse Suspesions**. C.C. Mill (Ed) Pergamon press, New York, 1959.

CHAMP M, KOZLOWSKI, F. LECANNU, G. In vivo and in vitro methods for resistant starch measurement. In: MCCLEARY V. PROSKY L. Advanced dietary fibber technology. Oxford: Blackwell Science, p.106-119, 2001.

CHANTRAPORNCHAI, W., CLYDESDALE, F., e MCCLEMENTS, D. J. Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-in-water emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 155, 373–382, 1999.

CHAPARRO, M. C. C. Para nós, a banana. In: **Diário popular**, São Paulo, 04 jan.p.06, 1991.

CHARM, S. E. Viscometry of non-Newtonian food materials. **Food Research**. v.25, p.351-362. 1960.

CHARM, S. E. The nature and role of fluid consistency in food engineering applications. **Adv. Food Research**. v.11, p.355-435. 1962.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Colheita e qualidade pós-colheita de frutas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 179, p. 8-18, 1994.

CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. J.; CHOU, S. K.; HAWLADER, M. N. A.; HO, J. C. Batch drying of banana pieces – effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. **Food Research International**, v. 34, p. 721-731, 2001.

CORDENUNSI, B.R.; MENEZES, E.W.; MOTA, R.V. da; LAJOLO, F.M. Composição em carboidratos em banana verde e madura de diferentes cultivares. 2000. *Seminario del Proyecto de Investigación Precompetitiva CYTED XI.8*. Quito. p. 15-22. [**Anais da Conferência realizada em Baños, Equador, 1998**], 2000.

CORNELL, J. A. Discussion. **Technometrics**. Washington, v.26, n.2, p.119-122, 1984.

CORNELL, J. A. **Experiments with mixture-designs, models and the analysis of mixture data**. New York: Jwiley, 3ª ed., 2002, 432p.

COSTA, A.S., BORGES, M.T.M.R. Definição e análise das formas de amido presentes em diferentes variedades de banana verde. **Anais de resumos**. V CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFSCar. São Carlos, Sp. p.204, 1997.

CRUZ, G. L. **Dicionário das plantas úteis do Brasil** – 5^a Ed. Editora Bertrand do Brasil S. A. Rio de Janeiro, RJ. 1995. 599p.

DEKEE, D., MOHAN, P, SOONG, D. S. Yield determination of styrene-butadiene styrene triblock copolymer solutions. **Journal of Macromolecular Science – Physics.** v.25, n.112, p.153-69, 1986.

DERVISOGLU, M. e KOKINI, J. L. Steady shear rheology and fluid mechanics of four semisolid foods. **Journal of Food Science.** v.51, p.541-546, 1986.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on thermoproperties of dispersed systems. **Food Hydrocolloids.** v.17, p.25–39, 2003.

DINIZ, F. M. e MARTIN A. M. Use of response surface methodology to described the combined effect of pH, temperature and EIS ratio on the hydrolysis of dogfish (*Squalus acanthias*) muscle. **International Journal of Food Science and Technology.** v.31, p.419-426,1996.

DUTTA, D., DUTTA, A., RAYCHAUDHURI U., CHAKRABORTY, R. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. **Journal of Food Engineering.** v. 76 , n.2006, p.538-546, 2005.

DUTCOSKI, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**; Editora Universitária Champagnat, Curitiba, PR. 1996.

EMBRAPA. **A cultura da banana.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. Coleção Plantar, Brasília, v. 16, 1994, 81p.

ESCARPA A., GONZALEZ M.C., MORALES M.D., SAURA-CALIXTO F. An approach to the influence of nutrients and other components on the resistant starch formation. **Food Chemistry**, v.60, n.4, p. 527-532, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Dados de produção e exportação de bananas de 2002 e 2003 – FAOSTAT. Disponível em <http://apps.fao.org> . Acesso em 13/04/2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Dados de produção mundial bananas em 2004-FAOSTAT. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/336/default.aspx>. Acesso em 05/11/2006.

FÁVARO, T. Ano bom para a banana. **O Estado de São Paulo**. Suplemento Agrícola. nº 2465, p.6-7, 5 de fev. 2003.

FERREIRA FILHO, S. S. Escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia hidráulica e sanitária. Processos físico-químicos I. **Floculação**. São Paulo, 2006.

FERREIRA, V. L. P. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas, S. P.: SBCTA 2000, 2000. 127p. (Manual: serie qualidade).

FIBRA NEWS. **Fibras**. Centro de Informações sobre fibras alimentares. Ed. Especial. São Paulo, 1990. 32p.

FILLION, L. e KILCAST, D. Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 23-29, 2002.

FOOD COMPOSITION AND NUTRITION TABLES, Medpharm Gmbh Scientific Publishers: Stuttgart, 1991.

FREITAS, R. S.; CECATO, E.; SANTOS M. B.; TIBONI, E. B.; **Técnicas analíticas de alimentos**. Curitiba, 1979. p 10.

GILLETE, M. Applications of descriptive analysis. **Journal of Food Protection**; v.47, n. 5, p. 403 - 409, 1984.

GIOVANNI, M., Response surface methodology and product optimization. **Food Technology**, v. 37, n. 11, p. 41-45, 1993.

GLADWELL, N., RAHALKAR, R. R. e RICHMOND, P. Influence of disperse phase concentration upon the viscoelastic behaviour of emulsions. **Rheology Acta**, 25, 55-61, 1986.

GOZZO, A. M. Comportamento reológico de chocolates ao leite sem fibras e enriquecido com fibras solúveis. Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Campinas-SP. 2003, 136p. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). **Dissertação de mestrado.**

GRAF, E. e SAGUY, I. **Food product development** – From concept to the marketplace, New York, AVI, 1991, 441p.

GUERRERO, S. N. Desarrollo de una tecnologia de factores combinados para preservar un pureé de banana de alta humedad. Universidad de Buenos Aires, Argentina, 1993. **Tese de doutorado.**

GUERRERO, S. N., e ALZAMORA S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purées I. Banana purée. **Journal of Food Engineering**, v.33, p.239-256, 1997.

GUERRERO, S. N., e ALZAMORA S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purées II. Peach, papaya and mango purées. **Journal of Food Engineering**, v.37, p.77-101, 1998.

GUILMINEAU F., KULOZIK, U. Influence of a thermal treatment on the functionality of hen's egg yolk in mayonnaise. **Journal of Food Engineering** doi:10.1016/j.jfoodeng, 2005.

GUTIERREZ, X., SILVA, F., CHIRINOS, M., LEIVA, J., e RIVAS, H. Bitumen-in-water emulsion: An overview on formation, stability and rheological properties. **Journal of Dispersion Science and Technology**. v.23, p.405–418, 2002.

HAMINIUK, C. W. I. Comportamento Reológico e fracionamento pécico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*). 2005. 85p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. **Dissertação de mestrado**.

HAMINIUK, C. W. I., SIERAKOWSKI, M-R., MACIEL, G. M., e MASSON, M. L. Rheological properties of butia pulp. **International Journal of Food Engineering**. v.2, p.1-12, 2006a.

HAMINIUK, C. W. I., SIERAKOWSKI, M-R., BRANCO I. G., MACIEL, G. M., e , MASSON, M. L. Rheological study of ternary mixtures and pectic gels of red fruit pulps. **International Journal of Food Science and Technology**. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.01311.x, 2006b.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**. v.2, p.393-418, 1971.

HUFENUSSLER, M. Estudo da secagem de purê de banana em secador tipo jorro. ESCOLA POLITÉCNICA – USP. São Paulo. 1985. 141p. **Dissertação de mestrado**.

HUNTERLAB. **Applications Note**. v.8, n.7, 1996. Disponível em <<http://www.hunterlab.com>>.

IBARZ, A., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Operaciones unitarias em la ingeniería de alimentos**. Technomic. Publishing companing, Inc. Pennsylvania – USA: 85 – 204, 1999.

IBARZ, A., GONÇALVES, C., EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices. **Fruit processing**, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (IAL). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. V. 1. São Paulo: IAL, 1985, 533p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Set. 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?z=t&o=10&i=P>>. Acesso em: 05 de novembro de 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Out 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 06/10/2004.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Estatísticas da produção vegetal, por escritório de desenvolvimento rural, Estado de São Paulo, 1999. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/tabelas/anu_veg399.htm. Acesso em 19/05/2005.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (ITAL), **Banana**, Campinas: [s.l.] 1990 (Série Frutas Tropicais, n. 03).

IZIDORO, D. R., DEMCZUK JR.B., MACARI, S. M., HAMINIUK, C. W. I., FONTOURA, P. S., FREITAS R. J. S., SCHEER, A. P. Comportamento reológico do gel de amido de banana verde e influencia da temperatura, sacarose, cloreto de sódio e ácido cítrico no processo de gelatinização. 6^o SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: **Anais de Resumos**. Campinas, SP. 2005.

IZIDORO, D. R., SIERAKOWSKI, M. R., DEMCZUK JR.B., HAMINIUK, C. W. I., SCHEER, A. P. Estudo do comportamento reológico do gel de farinha de banana (*Musa spp*) verde. ISBN: 978-85-60299-00-3. Página 794. XX CONGRESSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: ALIMENTOS E AGROINDÚSTRIAS BRASILEIRAS NO CONTEXTO INTERNACIONAL. **Anais de Resumos**. Curitiba, PR, 2006a.

IZIDORO, D. R., SIERAKOWSKI, M. R., DEMCZUK JR.B., HAMINIUK, C. W. I., SCHEER, A. P. Avaliação sensorial de emulsão adicionada de polpa de banana

(*Musa ssp*) verde. ISBN: 978-85-60299-00-3. Página 794. XX CONGRESSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: ALIMENTOS E AGROINDÚSTRIAS BRASILEIRAS NO CONTEXTO INTERNACIONAL. **Anais de Resumos**. Curitiba, PR, 2006b.

JAYNES, E. N. **Application in Food Industry: II. In Encyclopedia of Emulsion Technology** Vol. II: Applications, ed. P. Becher. Marcel Dekker, New York, 1985.

JOLY, A. B. Botânica – **Introdução à taxonomia vegetal**. Companhia Editora Nacional EDUSP 10ª Edição. São Paulo, 1991, 777p.

KARAS, R., SKVARCA, M., ZENDLER, B. Sensory quality of standard and light mayonnaise during storage. **Food technology Biotechnology**. v.40, n.2, p.119-127, 2002.

KAYISU, K., HOOD, L. F. Molecular structure of banana starch. **Journal of Food Science**, v.46, p.1894-1897, 1981.

KAYISU, K., HOOD, L. F., VANSOEST, P.J. Characterization of starch and fiber of banana fruit. **Journal of Food Science**, v.46, p.1885-1890, 1981.

KHALIL, K. E., RAMAKRISHNA, P., NANJUNDASWAMY, A. M., PATWARDHAN, M. V. **Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration**, 1989.

KISS, J., MINILLO, M. Yes, nós temos banana verde. **Globo Rural**, julho 2002.

KOEHLER, H. S. **Estatística Experimental**. Curitiba, Brasil: UFPR, 1999. 124p

KROKIDA, M. K., MAROULIS, Z. B., & SARAVACOS, G. D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable purée products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**. v.4, n.2, p.179-200, 2001.

LANZILLOTTI, R. S., LANZILLOTTI, H. S., Sensorial analysis under the focus of fuzzy logic. **Revista Nutrição**. v.12, n.2, p.145-157, 1999.

LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F; WITTIG DE PENNA, E., MENEZES, E.W. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos.** Proyecto CYTED XI.6 "Obtención y caracterización de fibra dietética para su aplicación en regímenes especiales"/ CNPq. Editora Varela, São Paulo. 469p, 2001.

LEWIS, D. A., FILDS, W.N., SHAW, G.P. A natural flavonoides present in unripe plantain banana pulp (*Musa sapientum*. L. var. *paradisaca*) protects the gastric mucosa from aspirin induced erosion. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 65, p.283-288, 1999.

LICHTENBERG, L. A. Colheita e pós-colheita da banana. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.73-90, 1999.

LIMA L. C., COSTA, S. M. DIAS, M. S. C., MARTINS, R. N., RIBEIRO Jr., P. M. **Controle do amadurecimento de banana 'prata-anã', armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-metilciclopropeno.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 29, n.2, p.476-480, 2004.

LII, C. Y., CHANG, S. M., & YOUNG, Y. L. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science**, v.47, p.1493-1497, 1982.

LOBO, A. R., LEMOS SILVA, G. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista Nutrição**. Campinas, v. 16(2), p.219-226, 2003.

LORETO, R. L. Estudos sobre a desidratação osmótica de bananas nanicas. Engenharia de alimentos. USP. São Paulo, 1996. 178p. **Dissertação de mestrado.**

LOURES, A., COELHO, D.T., CRUZ, R., LENZA, L.C. Obtenção, caracterização e utilização de farinha de banana (*Musa sp*) em panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.10, n.1, p. 72-86, 1990.

MA. L. e BARBOSA-CANOVAS. G. V. Rheological characterization of mayonnaise. Part 1: Slippage at Different Oil and Xanthan Gum concentrations. **Journal of Food Engineering**. v. 25, n.3, p.397-408, 1994.

MA, L. e BARBOSA-CANOVAS. G. V. Rheological characterization of mayonnaise. Part 2: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentration. **Journal of Food Engineering**. v.25, n.3, p.409-425, 1995.

MASCARENHAS, G.C.C. **Banana: Comercialização e mercados**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 20, n.196, p. 97-108, 1999.

McCLEMENTS, D. J. **Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques**, CRC Press, Boca Raton. p. 378, 1999.

MCCLEMENTS, D. J., e DEMETRIADES,K. An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 511–536,1998.

McCLEMENTS, J. Food biopolimers and colloids research laboratory. University of massachusetts amherts. Disponível em <<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>> Acessado em: 15/12/2005.

MEDINA, J.C., BLEINROTH, E. W., MARTI, Z.J.D., TRAVAGLINI, D. A., OKADA, M., QUAST, D.G., HASHIZUME, T., MORETTI, V. A., BICURDO NETO, L.C., ALMEIDA,L. A.S.B., RENESTO, O. V. **Banana**. Campinas, ITAL, Frutas Tropicais, 2ed, 1995, 302p.

MEHINAGIC, E.; ROYERA, G.E.; BERTRAND, D.; SYMONEAUX, R.; LAURENS, F.; JOURJON, F. Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible NIR

spectroscopy of apples belonging to different cultivars. **Food Quality and Preference**, v. 14, p.473-84, 2003.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. Boca Raton. CRC Press. 394p. 1991.

MENEZES E. W., CANZIO, A. E., LAJOLO, F. M. Formação de amido resistente em alimentos armazenados a baixas temperaturas. In: LAJOLO F. M., MENEZES E. W. Fibra dietética temas em tecnologia de alimentos. México: INP 1998; 2: 191-198. ANAIS DO SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE FIBRA DIETÉTICA EM ALIMENTOS-projeto CYTED XI 6, São Paulo, 1997.

MIZRAHI S. e BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture**. v.3, n.1, p.69-79,1972.

MONTGOMERY, D. C.; VOTH, S. R. Multicollinearity and leverage in mixture experiments. **Journal of Quality Technology**, v. 26, n.2, p.96-108,1994.

MORTON, J. F. **Fruits of warm climates**. Banana. p. 29-46. Miami. FL, 1987.

MOSKOWISTZ, H. R. **Applied sensory analysis of foods**. Boca Ratton: CRC Press, 1988. v.1, 259p.

MOSKOVITZ, H. in KILCAST, D. in Food texture: perception and measurement. Report of an international workshop held at conference center “ de Wageningse Berg” Wageningen, the Netherlands, 28 November – 1 December 1999. **Food Quality Preference Report of the Discussion Session II**, v.13, n.4, p. 237-255, junho, 2002.

NAGY, S., CHIEN, C. S., SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Agscience, Inc. Alburquerque, Flórida. 1993. 713p.

NATALE, C. D.; MACAGNANO, A.; PAOLESSE, R.; MANTINI, A.; TARIZZO, E.; D'AMICO, A.; SINESIO, F.; BUCARELLI, F.M.; MONETA, E.; QUAGLIA, G. B. electronic nose and sensorial analysis: comparison of performances in selected cases. **Sensors and actuators B**, v. 50, p.246-252, 1998.

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H.S. Osmotic Dehydration Kinetics of Blueberries. **Drying Technology**, v. 16, p. 725-741, 1998.

NUNEZ-SANTIAGO, M. C., BELLO-PEREZ, L. A. e TECANTE, A. Sweeling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behaviour of banana (*Musa paradisíaca*) starch. **Carbohydrate polymers**, 56, 65-75, 2004.

OLIVEIRA, D. A. G. Avaliação química, nutricional e sensorial de uma mistura a base de farinhas de arroz, banana e mandioca enriquecida com outras fontes protéicas. Piracicaba, Ciência e tecnologia de alimentos. ESALQ. 1997.79p. **Dissertação de mestrado**.

OLIVEIRA, S. O. de; ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, J. L. L. Cultivares. In: ALVES, E. J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2.ed., Brasília: Embrapa-SPI / Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, 1999, p.85-105

PARASKEVOPOULOU, A., ATHANASIADIS, I., BLEKAS, G., KOUTINAS, A. A., KANELAKI, M., & KIOSSEOGLOU, V. Influence of polysaccharide addition on stability of a cheese whey kefir-milk mixture. **Food Hydrocolloids**. v.17, n.5, p.615–620, 2003.

PARASKEVOPOULOU, A., BOSKOU D., KIOSSEOGLOU V. Stabilization of olive oil – lemon juice emulsion with polysaccharides. **Food Chemistry**. v.90, p.627-634, 2005.

PAREDES. M. D. C., RAO. M. A. e BOURNE, M. C. (1989). Rheological characterization of salad dressing. 2: Effect of storage. **Journal of Texture Studies**, 20, 235-250.

PERALTA, M. O. U.; HUPAYA, M. D.; MOLINA, O.G. **Evaluación sensorial de los alimentos**. Editorial agraria. Primeira edición. Lima. 1999.

PERESSINI, D., SENSIDONI A., CIONDIO B. Rheological characterization of traditional and light mayonnaises. **Journal of Food Engineering**. v.35, p.409-417, 1998.

PIEPEL, G.F. e CORNELL, J. A. Mixture experiments approaches: Examples, discussion, and recommendations. **Journal of Quality Technology**. Wisconsin, v. 26, n.3, p. 177-196, 1994.

PIZZOL, J.S.S.de; ELEUTÉRIO, R.C. **Fruticultura: participação do Brasil no mercado externo de bananas**. **Preços Agrícolas**, São Paulo, v. 14, n.162, p.40-41, 2000.

POIANI, L. M., BORGES, M.T.M.R. **Programa de desenvolvimento de processos agroindustriais integrados voltados para o setor bananeiro**. Programa de pesquisa e extensão DTAiSER/CCA/UFSCar, Araras, 1996.

PONS, M., GALOTTO, M. J. e SUBIRATS. S. Comparison of the steady rheological characterization of normal and light mayonnaises. **Food Hydrocolloids**. v.8, n.3-4, p.389-400, 1994.

QMC WEB – **Revista eletrônica do departamento de química – UFFS**, Florianópolis-SC, Brasil (2004): www.qmc.ufsc.br/artigos/colaboracoes/marina-fat-free.html. Accessed in 09/11/2006.

RAHALKAR, R. B. Viscoelastic properties of oil-water emulsions. In **Viscoelastic Properties of Foods**, eds M. A. Rao & J. F. Steffe. Elsevier Applied Science, New York, Ch. 12, 1992.

RANZANI, R. T. C., STURION, G. L., BICUDO, M. H. Avaliação química e biológica de casca de banana madura. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIENCIA DE

ALIMENTOS CAMPINAS PROGRAMA CIENTÍFICO. Campinas, FEA/Unicamp, p. 84. 1995.

RAO, M. A.; OTOYA PALOMINO, L. N. BERNHARDT, L. W. Flow properties of tropical fruit purees. **Journal of Food Science**, v.39, p.160-161, 1974.

RAO, M. A. e COOLEY, H. J. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. **Journal of Food Process Engineering**, n. 3, v.6, p. 159-173, 1982.

RAO, M. A. e TATTIYAKUL, J. Granule size and rheology behaviour heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**. v.38, p.123-132, 1999.

REINER, M. **The Deborah Number**. Physics Today. January: 62, 1964.

SÃO PAULO. **Relatório da Sessão da Câmara**, do dia 07 de Maio de 2003, São Paulo: Câmara de Vereadores, Vereador Paulo Frange, 2003.

SCHARAMM, G. A. **A practical approach to rheology and rheometry**. 2nd edition, Karlsruhe, Germany, 2000.

SEYMOUR, G.B., TAYLOR, J.E. e TUCKER, G.A.. **Biochemistry of Fruit Ripening**. Chapman & Hall, London. 1993.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S.J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience, 2000, 348p.

SHAW, D.J. **Introdução à química de colóides e de superfícies**. São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 1975.

SILVA, C. S., LIMA L. C., SANTOS, H. S., CAMILI, E. C., VIEIRA, C. R. Y. I., MARTIN C. S., VIEITES, R. L. Amadurecimento da banana-prata climatizada em diferentes dias após a colheita. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.30, n.1, p. 103-111, 2006.

SKRABANJA V., KREFT I. Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats in an in vitro study. **Journal of Agriculture Food Chemistry**. v.46, p.2020-2023, 1998.

STATISTICA ELECTRONIC MANUAL. **Statistica Gage Linearity Technical Notes**. STATISTICA 7.1 STAT SOFT. TULSA, USA, 2005.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, 2^a Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418p. 1996.

STEINBERG, D. M.; HUNTER, W. G. Experimental design: a review and comment. **Technometrics** Chicago, v. 26, n. 2, p. 71-97, 1984.

STONE, H. e SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. San Diego-California: Academic Press, 1993, 338p.

SUNTHARALINGAM, S.; RAVINDRAM, G. Physical and biochemical properties of green banana flour. **Plant Foods Human Nutrition**, v.43, p.19-27, 1993.

TABILO-MUNIZAGA A, BARBOSA-CANOVAS G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**. v.67, n.2005, p.147–156, 2004.

TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos/NEPA – UNICAMP. Versão II – Campinas. NEPA – UNICAMP, 105p, 2006.

TAIPINA, M. S., COHEN, V. H., DEL MASTRO, N. L. RODAS, M. A. B., DELLA TORRE, J. C. M. Aceitabilidade sensorial de suco de manga adicionado de polpa de banana (*Musa sp*) verde. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. v.63, n.1, p.49-55, 2004.

TEIXEIRA, M. A.V., CIACCO, C. F., TAVARES, D. Q., BONEZZI, A. N. Ocorrência e caracterização do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.18, n.2, p. 246-252, 1998.

THOMPSON, D. R. Designing mixture experiments – A review. **Transactions of the Assae**, St. Joseph, v. 24, n.4, p. 1077-1086, 1981.

THOMPSON, A. K. Banana processing in: **Bananas and Plantains** – Gowen, S. Ed. Chapman & Hall. Londres. p. 481-492, 1995.

TORRES L. L. G, AHMED A. E. D., CARVALHO, C. W. P., ASCHERI, J. L. R. GERMANI, R. MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 273-290, 2005.

TRAVAGLINI, D. A. Banana-passa: princípios de secagem, conservação e produção industrial. Campinas, ITAL, **Manual Técnico**, v.12. 1993, 48p.

TRIFIRO, A., SACCANI, G., GHERARDI, S., BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. **Industria Conserve**, v. 62, p.97-104, 1987.

URBANSKI, G.E., WEI, L.S., NELSON, A.I., STEINBERG, M.P. Rheology and water imbibing of major fractions of soybean beverage. **Journal of Food Science**. v.47, n.3, p.1021-1022, 1982.

USDA. **Nutritive Values of Foods**. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research. Susan E. Gebhardt and Robin G. Thomas. Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville, Maryland, 2002.

USP – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO. **Tabela de composição de alimentos**. Projeto integrado de composição de alimentos. Disponível em <http://www.fcf.usp.br/tabela/tbmenu.php>. Acesso em 16/05/06.

VALLE, H. F. e CAMARGOS, M. **Yes, nós temos banana**. Editora Senac. São Paulo, 2003.

VIDAL, J.R.M.B. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica L-Keitt*) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Campinas, SP, 2000. 159p. **Tese de Doutorado**.

VIVA MAIS. Uma banana para o desperdício. **Revista Viva Mais**, abril de 2002.

Von LOESECKE, H. W. **Bananas** (2nd ed). New York: Interscience Publishers (pp. 52-66), 1950.

WASZCZYNSKYJ, N. Análise sensorial em alimentos e bebidas. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1997. 20p. (apostila).

WORRASINCHAI S., SUPHANTHARIKA M., PINJAI S., e JAMNONG P. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. **Food Hydrocolloids**. v.20, p.68-78, 2005.

YILMAZER, G. e KOKINI, J. L. Effect of salt on the stability of propylene glycol alginate/xanthan gum/polysorbate-60 stabilised oil-in-water emulsions. **Journal of Texture Studies**. v.23, p.195-213, 1992.

YOON, W. B.; PARK, J. W.; KIM, B. Y. Surimi-starch interactions based on mixture design and regression models. **Journal of Food Science**. v.62, n.3, p.555-560, 1997.

ZHANG, P., e WHISTLER, R. L. **Isolation of starch and hemicellulose from green bananas**. Boston, MA: 22 th American Chemical Society National Meeting, 2002.

ZHANG, P., WAMPLER, J. L., BHUNIA, A. K., BURKHOLDER, K. M., PATTERSON, J. A., WHISTLER, R. L.. Effects of arabinoxylans on activation of murine macrophages and growth performance of broiler chicks. **Cereal Chemistry**. v.81, p.511-514, 2004.

APÊNDICES

Resultados experimentais

APÊNDICE 1 - DADOS EXPERIMENTAIS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS FORMULAÇÕES EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 10°C.

Temperatura de 10°C							
Tensão de Cisalhamento (Pa)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	10,05	2,51	11,62	2,01	5,49	5,37	5,59
12,51	98,27	40,69	102,82	32,9	66,4	66,09	66,13
25,06	124,44	54,72	131,23	45,13	83,29	82,86	82,91
37,69	144,7	65,09	153,25	54,58	96,31	95,73	95,82
50,07	161,68	73,91	171,8	62,49	106,82	106,2	106,31
62,83	176,6	81,52	188,08	69,44	116,16	115,44	115,53
75,17	190,23	88,48	202,48	75,62	124,48	123,78	123,88
87,57	203,28	94,75	215,92	81,51	132,42	131,72	132
100,00	215,62	100,92	228,32	86,84	139,48	138,73	139,04
112,70	227,22	106,56	239,72	91,86	146,31	145,53	145,79
125,10	238,22	112,12	250,62	96,65	152,67	151,9	152,19
137,60	248,62	117,15	260,97	101,37	158,89	158	158,28
150,20	258,55	122,08	270,38	105,89	164,68	163,78	164,04
162,60	268	126,8	280,32	110,07	170,38	169,48	169,9
175,20	278,53	131,32	289,63	114,3	176,03	175,27	175,59
187,70	288,08	136,02	298,63	118,37	182,12	181,35	181,42
200,20	296,97	140,3	306,88	122,23	187,65	186,92	187,02
212,80	305,58	145,17	315,87	126,15	193,19	192,32	192,39
225,20	315,73	150,28	324,27	129,97	198,66	197,67	197,78
237,70	325,38	155,02	332,4	134,25	203,9	202,9	202,99
250,20	334,35	159,43	341,43	138,17	209,4	208,47	208,62
262,80	343,23	163,72	350,5	142,17	214,63	213,52	213,67
275,40	353,38	168,13	358,75	146,07	220,27	218,95	219,16
287,80	362,25	172,53	368,08	150,08	226,65	224,95	225,01
300,00	370,75	176,8	375,85	153,95	232,04	230,25	230,31

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 2 - DADOS EXPERIMENTAIS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS FORMULAÇÕES EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 25°C.

Temperatura de 25°C							
Tensão de Cisalhamento (Pa)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	7,31	2,06	8,18	1,48	4,59	4,06	4,24
12,51	72,14	34,25	79,24	26,47	49,31	50,35	49,92
25,06	90,19	45,37	98,04	36,11	61,72	62,84	62,39
37,69	104,04	53,7	112,52	43,42	70,8	72,21	71,53
50,07	115,31	60,53	124,48	49,45	78,4	79,77	79,06
62,83	125,27	66,56	134,95	54,62	84,83	86,5	85,72
75,17	134,18	72,03	144,02	59,36	90,82	92,45	91,65
87,57	142,62	77,04	152,33	63,69	96,1	97,85	96,99
100,00	150,22	81,63	160,9	67,62	101,27	102,79	102,09
112,70	157,63	85,95	168,4	71,37	105,97	107,65	106,87
125,10	164,45	90,09	175,53	74,89	110,22	112,13	111,34
137,60	170,92	94,12	181,67	78,27	114,39	116,35	115,56
150,20	177,32	98	187,92	81,68	118,71	120,58	119,7
162,60	183,48	102,29	193,98	84,88	122,41	124,52	123,54
175,20	189,45	105,8	199,83	87,92	126,3	128,37	127,33
187,70	195,1	109,25	205,9	91,21	130,11	132,25	131,39
200,20	201,15	112,93	211,18	94,32	133,88	136,44	135,88
212,80	207	116,52	216,47	97,2	137,28	139,84	139,21
225,20	212,67	119,78	221,48	100,1	141,44	143,79	143,07
237,70	218,15	123,05	226,53	102,98	145,1	147,35	146,74
250,20	223,83	126,88	231,38	105,61	148,71	150,98	150,33
262,80	229,43	130,18	235,95	108,87	152,22	154,5	153,88
275,40	235,03	133,42	241,43	111,87	156,25	158,01	157,56
287,80	240,63	137,03	247	114,9	159,9	161,56	161,16
300,00	246,47	140,57	252,4	117,8	163,7	165,59	165,03

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 3 - DADOS EXPERIMENTAIS DE VISCOSIDADE APARENTE PARA AS FORMULAÇÕES, EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 10°C.

Temperatura de 10°C							
Viscosidade Aparente (Pa.s)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	69,95	9,8	34,95	4,76	16,48	17,35	17,02
12,51	7,77	3,23	8,11	2,59	5,26	5,2	5,25
25,06	4,94	2,18	5,21	1,79	3,31	3,28	3,3
37,69	3,84	1,73	4,07	1,45	2,55	2,53	2,54
50,07	3,22	1,47	3,42	1,25	2,13	2,12	2,12
62,83	2,82	1,3	3	1,11	1,86	1,84	1,84
75,17	2,53	1,18	2,7	1,01	1,65	1,64	1,64
87,57	2,32	1,08	2,47	0,93	1,51	1,51	1,5
100,00	2,15	1,01	2,28	0,87	1,39	1,39	1,38
112,70	2,02	0,95	2,13	0,82	1,3	1,3	1,29
125,10	1,9	0,9	2	0,77	1,22	1,22	1,21
137,60	1,81	0,85	1,9	0,74	1,16	1,15	1,15
150,20	1,72	0,82	1,8	0,71	1,1	1,09	1,09
162,60	1,65	0,78	1,72	0,68	1,05	1,05	1,04
175,20	1,59	0,75	1,65	0,65	1,01	1,01	1
187,70	1,54	0,73	1,59	0,63	0,97	0,96	0,96
200,20	1,49	0,7	1,53	0,61	0,94	0,93	0,93
212,80	1,44	0,68	1,49	0,59	0,91	0,9	0,9
225,20	1,4	0,67	1,44	0,58	0,88	0,88	0,88
237,70	1,37	0,65	1,4	0,57	0,86	0,86	0,85
250,20	1,34	0,64	1,36	0,55	0,84	0,84	0,83
262,80	1,31	0,62	1,34	0,54	0,82	0,81	0,81
275,40	1,29	0,61	1,31	0,53	0,8	0,8	0,79
287,80	1,26	0,6	1,28	0,52	0,79	0,78	0,78
300,00	1,24	0,59	1,25	0,51	0,77	0,76	0,76

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 4 - DADOS EXPERIMENTAIS DE VISCOSIDADE APARENTE PARA AS FORMULAÇÕES, EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 25°C.

Temperatura de 25°C							
Viscosidade Aparente (Pa.s)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	21,28	8,52	21,93	7,38	13,43	15,1	15,87
12,51	5,66	2,7	6,23	2,09	3,88	3,95	3,92
25,06	3,58	1,8	3,9	1,44	2,45	2,48	2,46
37,69	2,76	1,42	2,98	1,15	1,88	1,91	1,89
50,07	2,29	1,21	2,48	0,99	1,56	1,59	1,57
62,83	2	1,06	2,15	0,87	1,35	1,38	1,36
75,17	1,78	0,96	1,92	0,79	1,2	1,22	1,21
87,57	1,62	0,88	1,74	0,73	1,09	1,11	1,1
100,00	1,5	0,82	1,61	0,68	1,01	1,02	1,02
112,70	1,4	0,76	1,5	0,63	0,94	0,95	0,94
125,10	1,31	0,72	1,4	0,6	0,88	0,89	0,89
137,60	1,24	0,69	1,32	0,57	0,83	0,84	0,84
150,20	1,18	0,66	1,25	0,55	0,79	0,8	0,8
162,60	1,13	0,63	1,19	0,52	0,75	0,76	0,76
175,20	1,08	0,61	1,14	0,5	0,72	0,73	0,72
187,70	1,04	0,58	1,1	0,49	0,69	0,7	0,7
200,20	1,01	0,56	1,06	0,47	0,67	0,68	0,68
212,80	0,98	0,55	1,02	0,46	0,65	0,66	0,65
225,20	0,94	0,53	0,98	0,45	0,63	0,64	0,63
237,70	0,92	0,52	0,95	0,43	0,61	0,62	0,62
250,20	0,89	0,51	0,93	0,42	0,59	0,6	0,6
262,80	0,87	0,5	0,9	0,42	0,58	0,59	0,58
275,40	0,86	0,49	0,88	0,41	0,57	0,57	0,57
287,80	0,84	0,48	0,86	0,4	0,56	0,56	0,56
300,00	0,82	0,47	0,84	0,39	0,54	0,55	0,55

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 5 - DADOS EXPERIMENTAIS DE VISCOSIDADE APARENTE PARA AS FORMULAÇÕES, EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), CALCULADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY, NA TEMPERATURA DE 10°C.

Temperatura de 10°C							
Viscosidade Aparente (Pa.s)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	636,28	172,38	532,77	121,44	333,02	323,87	329,36
12,51	5,91	3,03	7,66	2,50	4,77	4,79	4,75
25,06	3,73	2,09	5,08	1,74	3,15	3,17	3,14
37,69	2,87	1,68	4,00	1,42	2,48	2,50	2,47
50,07	2,39	1,45	3,40	1,23	2,10	2,12	2,09
62,83	2,07	1,29	2,98	1,09	1,84	1,86	1,83
75,17	1,85	1,17	2,69	1,00	1,66	1,68	1,65
87,57	1,68	1,09	2,46	0,93	1,52	1,54	1,51
100,00	1,54	1,01	2,29	0,87	1,41	1,43	1,40
112,70	1,43	0,95	2,14	0,82	1,32	1,33	1,31
125,10	1,34	0,90	2,01	0,78	1,24	1,26	1,23
137,60	1,26	0,86	1,91	0,74	1,17	1,19	1,17
150,20	1,20	0,82	1,81	0,71	1,12	1,13	1,11
162,60	1,14	0,79	1,73	0,68	1,07	1,08	1,06
175,20	1,09	0,76	1,66	0,66	1,02	1,04	1,02
187,70	1,04	0,74	1,60	0,63	0,98	1,00	0,98
200,20	1,00	0,71	1,54	0,61	0,95	0,96	0,94
212,80	0,96	0,69	1,49	0,60	0,92	0,93	0,91
225,20	0,93	0,67	1,44	0,58	0,89	0,90	0,88
237,70	0,90	0,65	1,40	0,56	0,86	0,87	0,85
250,20	0,87	0,64	1,36	0,55	0,83	0,85	0,83
262,80	0,85	0,62	1,32	0,54	0,81	0,83	0,81
275,40	0,82	0,61	1,29	0,52	0,79	0,80	0,78
287,80	0,80	0,59	1,26	0,51	0,77	0,78	0,77
300,00	0,78	0,58	1,23	0,50	0,75	0,77	0,75

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 6 - DADOS EXPERIMENTAIS DE VISCOSIDADE APARENTE PARA AS FORMULAÇÕES, EM TEMPO 0, INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), CALCULADOS PELO MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY, NA TEMPERATURA DE 25°C.

Temperatura de 25°C							
Viscosidade Aparente (Pa.s)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	383,48	137,74	363,73	7,38	13,43	223,06	233,83
12,51	5,22	2,53	5,86	2,09	3,88	3,66	3,62
25,06	3,43	1,73	3,80	1,44	2,45	2,39	2,37
37,69	2,69	1,38	2,95	1,15	1,88	1,87	1,85
50,07	2,27	1,19	2,48	0,99	1,56	1,57	1,56
62,83	1,99	1,05	2,15	0,87	1,35	1,37	1,36
75,17	1,79	0,95	1,93	0,79	1,20	1,23	1,22
87,57	1,64	0,88	1,75	0,73	1,09	1,12	1,12
100,00	1,51	0,82	1,62	0,68	1,01	1,04	1,03
112,70	1,41	0,77	1,50	0,63	0,94	0,97	0,96
125,10	1,33	0,73	1,41	0,60	0,88	0,91	0,90
137,60	1,26	0,69	1,33	0,57	0,83	0,86	0,85
150,20	1,19	0,66	1,26	0,55	0,79	0,81	0,81
162,60	1,14	0,63	1,20	0,52	0,75	0,78	0,77
175,20	1,09	0,61	1,15	0,50	0,72	0,74	0,74
187,70	1,05	0,59	1,10	0,49	0,69	0,71	0,71
200,20	1,01	0,57	1,06	0,47	0,67	0,69	0,68
212,80	0,98	0,55	1,02	0,46	0,65	0,66	0,66
225,20	0,95	0,53	0,98	0,45	0,63	0,64	0,64
237,70	0,92	0,52	0,95	0,43	0,61	0,62	0,62
250,20	0,89	0,50	0,92	0,42	0,59	0,60	0,60
262,80	0,86	0,49	0,90	0,42	0,58	0,58	0,58
275,40	0,84	0,48	0,87	0,41	0,57	0,57	0,57
287,80	0,82	0,47	0,85	0,40	0,56	0,55	0,55
300,00	0,80	0,46	0,83	0,39	0,54	0,54	0,54

Média de três ensaios experimentais

APÊNDICE 7 - DADOS EXPERIMENTAIS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 10°C.

Após armazenamento de 15 dias Temperatura de 10°C							
Tensão de Cisalhamento (Pa)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	46,97	31,97	65,64	26,87	42,97	42,58	44,5
12,51	101,54	74,2	128,2	64,56	92,89	92,53	93,22
25,06	124,65	91,09	154,13	80,17	114,17	113,72	114,62
37,69	142,3	103,57	172,77	91,62	129,63	129,12	130,13
50,07	156,1	113,93	188,23	101,07	142,4	141,84	142,92
62,83	168,97	123,03	201,57	109,33	153,5	152,9	154,05
75,17	180,73	131,33	213,6	116,77	163,63	163	164,18
87,57	191,13	138,93	224,93	123,7	172,93	172,28	173,62
100,00	201,78	146,17	235,33	130,17	181,53	180,84	182,13
112,70	211,46	152,8	245,4	136,37	189,73	188,99	190,41
125,10	220,01	159,43	254,73	142,2	197,77	196,99	198,56
137,60	228,48	165,8	264,1	147,83	205,33	204,54	206,05
150,20	236,79	172	273,1	153,37	212,87	212,07	213,6
162,60	246,72	178,07	282	158,6	220,13	219,29	220,93
175,20	254,24	184,17	290,33	164,03	227,4	226,52	228,25
187,70	262,08	190,1	298,8	169,27	234,57	233,67	235,46
200,20	271,53	196,03	306,83	174,4	241,43	240,44	242,31
212,80	273,71	201,73	315,2	179,57	248,43	247,4	249,3
225,20	282,39	207,7	323,73	184,37	255,6	254,54	256,48
237,70	286,29	213,7	332,13	189,63	262,8	261,75	263,67
250,20	297,5	219,8	340,53	195	270,27	269,2	271,18
262,80	312,88	226,03	348,9	200,2	277,77	276,68	278,65
275,40	314,56	232,23	357,67	205,67	285,5	284,39	286,38
287,80	321,16	238,8	366,5	211,27	292,7	291,46	294,17
300,00	334,52	245,4	374,73	217,1	301,63	300,39	302,93

Média das curvas de volta de três ensaios experimentais

APÊNDICE 8 - DADOS EXPERIMENTAIS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO PARA AS FORMULAÇÕES APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52), NA TEMPERATURA DE 25°C.

Após armazenamento de 15 dias							
Temperatura de 25°C							
Tensão de Cisalhamento (Pa)							
Taxa de cisalhamento (s ⁻¹)	F1	F2	F3	F4	F5	F51	F52
0,03	37,63	29,12	57,21	22,42	28,4	27,8	28,41
12,51	92,56	68,99	119,53	57,74	70,28	70,15	70,37
25,06	115,9	85,85	145,67	72,81	89,78	89,52	89,89
37,69	133,67	98,38	164,77	84,42	104,57	104,24	104,67
50,07	148,17	108,9	180,67	93,87	116,83	116,38	116,89
62,83	161,1	118,2	194,6	102,27	127,73	127,36	127,85
75,17	172,47	126,63	207,37	110,03	137,6	137,18	137,73
87,57	183,87	134,6	218,93	117,1	146,83	146,31	146,94
100,00	193,33	142,03	230	123,73	155,5	154,93	155,6
112,70	202,93	149,33	240,47	130,07	163,67	163,12	163,76
125,10	211,77	156,2	250,47	136,23	171,63	171,04	171,76
137,60	220,77	162,87	260,27	142,07	179,4	178,9	179,55
150,20	230,7	169,3	269,63	147,93	186,87	186,25	187
162,60	239,77	175,97	278,6	153,63	194,17	193,77	194,41
175,20	248,83	182,17	287,83	159,1	201,4	200,76	201,54
187,70	258	188,53	296,63	164,77	208,87	208,11	209
200,20	266,9	194,8	305,6	170,17	215,97	215,21	216,12
212,80	274,87	201	314,43	175,23	223,03	222,66	223,45
225,20	285	207,4	323,37	180,87	230,3	229,88	230,68
237,70	293,67	213,93	332,1	186,57	238,13	237,61	238,44
250,20	303,07	220,53	341	192,23	245,63	244,48	245,78
262,80	312,93	227,17	349,8	198,03	253,7	252,71	253,85
275,40	322,43	234,03	358,97	204,17	262	260,65	262,01
287,80	331,23	240,97	368,13	210,37	270,9	269,98	271
300,00	338,7	248,43	377,3	217,07	279,73	278,36	279,8

Média das curvas de volta de três ensaios experimentais

APÊNDICE 9 - PARÂMETROS REOLÓGICOS OBTIDOS DOS AJUSTES DOS DADOS EXPERIMENTAIS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52) A 10⁰C, UTILIZADOS PARA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.

ÁGUA	ÓLEO	POLPA	Tensão inicial (τ)	Índice de comportamento (n)	Coefficiente de consistência (K)	Viscosidade aparente (η_{ap})*
0,10	0,20	0,70	13,17	0,49	21,06	2,08
0,20	0,20	0,60	3,72	0,51	9,19	1,00
0,10	0,25	0,65	11,58	0,46	26,81	2,31
0,20	0,25	0,55	2,54	0,52	7,80	0,88
0,15	0,225	0,625	6,43	0,45	17,23	1,40
0,15	0,225	0,625	6,42	0,45	14,24	1,39
0,15	0,225	0,625	6,05	0,44	17,41	1,38
0,10	0,20	0,70	15,80	0,49	20,94	2,15
0,20	0,20	0,60	3,13	0,51	9,94	1,05
0,10	0,25	0,65	9,42	0,44	27,54	2,22
0,20	0,25	0,55	2,49	0,52	7,81	0,87
0,15	0,225	0,625	6,36	0,45	17,26	1,39
0,15	0,225	0,625	5,67	0,44	17,59	1,40
0,15	0,225	0,625	6,42	0,45	17,22	1,39
0,10	0,20	0,70	13,06	0,49	21,95	2,23
0,20	0,20	0,60	3,69	0,49	9,76	0,98
0,10	0,25	0,65	10,06	0,45	27,73	2,32
0,20	0,25	0,55	2,04	0,51	8,02	0,87
0,15	0,225	0,625	6,38	0,45	17,25	1,39
0,15	0,225	0,625	6,14	0,44	17,28	1,38
0,15	0,225	0,625	6,23	0,44	17,32	1,38

* Dados obtidos na taxa de cisalhamento de 100s⁻¹.

APÊNDICE 10 - PARÂMETROS REOLÓGICOS OBTIDOS DOS AJUSTES DOS DADOS EXPERIMENTAIS PARA TODAS AS FORMULAÇÕES INCLUINDO AS REPETIÇÕES NO PONTO CENTRAL (F51 E F52) A 25°C, UTILIZADOS PARA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.

ÁGUA	ÓLEO	POLPA	Tensão inicial (τ)	Índice de comportamento (n)	Coefficiente de consistência (K)	Viscosidade aparente (η_{ap})*
0,10	0,20	0,70	7,49	0,44	19,14	1,50
0,20	0,20	0,60	2,87	0,48	8,63	0,83
0,10	0,25	0,65	5,13	0,40	24,45	1,62
0,20	0,25	0,55	2,12	0,50	6,18	0,64
0,15	0,225	0,625	4,44	0,42	13,74	1,00
0,15	0,225	0,625	2,80	0,41	15,44	1,03
0,15	0,225	0,625	4,01	0,42	14,06	1,02
0,10	0,20	0,70	6,94	0,44	19,68	1,53
0,20	0,20	0,60	2,19	0,49	8,58	0,82
0,10	0,25	0,65	4,54	0,40	25,47	1,64
0,20	0,25	0,55	1,04	0,49	7,00	0,69
0,15	0,225	0,625	3,62	0,42	14,58	1,01
0,15	0,225	0,625	3,28	0,41	14,92	1,02
0,15	0,225	0,625	3,28	0,41	14,89	1,02
0,10	0,20	0,70	7,72	0,44	18,66	1,48
0,20	0,20	0,60	2,58	0,48	8,69	0,80
0,10	0,25	0,65	4,32	0,39	25,52	1,57
0,20	0,25	0,55	1,64	0,49	7,12	0,71
0,15	0,225	0,625	4,06	0,42	14,13	1,01
0,15	0,225	0,625	3,16	0,41	15,03	1,02
0,15	0,225	0,625	3,69	0,42	14,45	1,03

* Dados obtidos na taxa de cisalhamento de 100s⁻¹.

APÊNDICE 11 – FICHA UTILIZADA PARA ANÁLISE SENSORIAL NO TESTE DE ADQ

ADQ – ANÁLISE DESCRITIVA QUANTITATIVA

Julgador: _____ Data: ____/____/____

Prove cuidadosamente cada amostra de “maionese” que lhe está sendo apresentada e marque um traço na reta, caracterizando a intensidade percebida do atributo solicitado:

1. APARÊNCIA

Nº amostra	ruim		muito boa
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

2. COR

Nº amostra	escura		clara
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

3. TEXTURA

Nº amostra	pouco viscosa		muito viscosa
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

4. AROMA DE BANANA

Nº amostra	imperceptível		perceptível
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

5. GOSTO DE BANANA

Nº amostra	muito		nenhum
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

APÊNDICE 12 - FICHA 2 UTILIZADA PARA ANÁLISE SENSORIAL NO TESTE DE ADQ

ADQ – ANÁLISE DESCRITIVA QUANTITATIVA

Julgador: _____ Data: ____/____/____

Prove cuidadosamente cada amostra de “maionese” que lhe está sendo apresentada e marque um traço na reta, caracterizando a intensidade percebida do atributo solicitado:

6. ADESIVIDADE

Nº amostra	não adesivo	muito adesivo
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

7. OLEOSIDADE

Nº amostra	nenhuma	muita
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

8. SABOR GERAL

Nº amostra	ruim	muito bom
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Comentários: _____

APÊNDICE 13 - FICHA UTILIZADA PARA ANÁLISE SENSORIAL PARA ESCALA HEDÔNICA

ESCALA HEDÔNICA

Julgador: _____ Data: ____/____/____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto gostou ou desgostou do produto.

- 1 – desgostei muitíssimo
- 2 – desgostei muito
- 3 – desgostei regularmente
- 4 – desgostei ligeiramente
- 5 – indiferente
- 6 – gostei ligeiramente
- 7 – gostei regularmente
- 8 – gostei muito
- 9 – gostei muitíssimo

AMOSTRA	VALOR

.ATITUDE DE COMPRA

Se este produto estivesse disponível no mercado, qual seria sua atitude de compra?

- () Eu jamais compraria este produto
- () Eu provavelmente não compraria este produto
- () Eu tenho dúvidas se compraria ou não compraria este produto
- () Eu provavelmente compraria este produto
- () Eu certamente compraria este produto

Comentários: _____